

AD-A089 031

JOINT PUBLICATIONS RESEARCH SERVICE ARLINGTON VA  
DIRECTIVES FOR PLANNING THE TRANSITIONAL ZONES OF EARTHFILL DAM-- TC(U)  
JUL 76 I Y DUBROVSKIY, L F SETKO

F/G 1 /2

UNCLASSIFIED

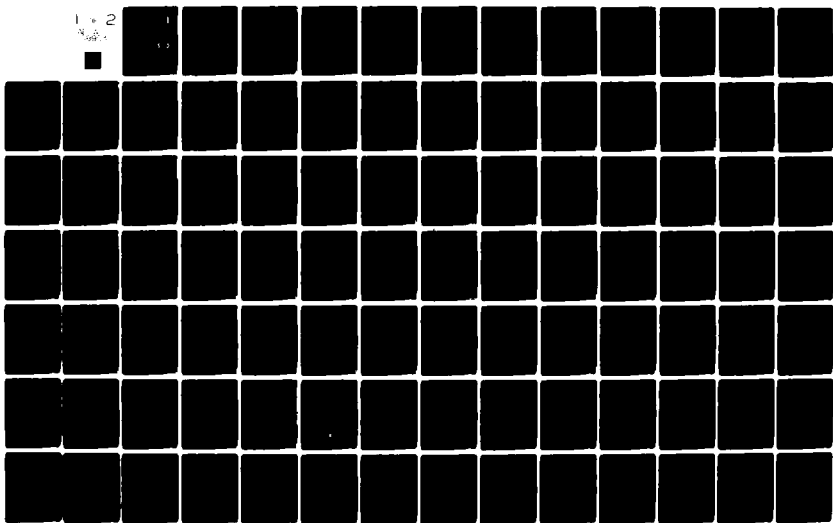
NL

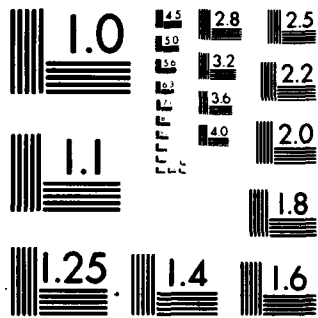
1 x 2

2 x 1

1

12



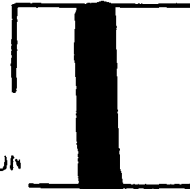
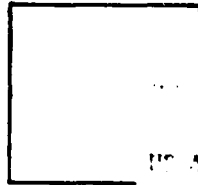


MICROCOPY RESOLUTION TEST CHART  
NATIONAL BUREAU OF STANDARDS-1963-A

PHOTOGRAPH THIS SHEET

AD A089031

DTIC ACCESSION NUMBER



LEVEL

LIBRARY BRANCH  
TECHNICAL INFORMATION CENTER  
US ARMY ENGINEER WATERWAYS EXPERIMENT STATION  
VICKSBURG, MISSISSIPPI

INVENTORY

DIRECTIVES FOR PLANNING THE TRANSITIONAL ZONES  
OF EARTHFILL DAMS

Edited by  
I. Ye. Dubrovskiy and L. F. Setko

DOCUMENT IDENTIFICATION

DISTRIBUTION STATEMENT A

Approved for public release;  
Distribution Unlimited

DISTRIBUTION STATEMENT

ACCESSION FOR	
NTIS	GRA&I <input checked="" type="checkbox"/>
DTIC	TAB <input type="checkbox"/>
UNANNOUNCED	<input type="checkbox"/>
JUSTIFICATION	
BY <i>Per DTIC Form 50</i>	
DISTRIBUTION / <i>on file</i>	
AVAILABILITY CODES	
DIST	AVAIL AND/OR SPECIAL
<i>A</i>	

DISTRIBUTION STAMP

DTIC  
ELECTE  
SEP 12 1980  
S D D

DATE ACCESSIONED

80 8 28 059

DATE RECEIVED IN DTIC

PHOTOGRAPH THIS SHEET AND RETURN TO DTIC-DDA-2

TC543  
D83

US-CE-C

Property of the United States Government

\$416.00

DIRECTIVES FOR PLANNING THE TRANSITIONAL ZONES  
OF EARTHFILL DAMS

Edited by  
I. Ye. Dubrovskiy and L. F. Setko

Translated from Russian for WES  
by  
Joint Publications Research Service

July 1976

AD A089031

LIBRARY BRANCH  
TECHNICAL INFORMATION CENTER  
US ARMY ENGINEER WATERWAYS EXPERIMENT STATION  
VICKSBURG, MISSISSIPPI

TC543  
D83

UDC 624.131.67

**DIRECTIVES FOR PLANNING THE TRANSITIONAL ZONES OF EARTHFILL DAMS**

Leningrad UKAZANIYA PO PROYEKTIROVANIYU PEREKHODNYKH ZON KAMENNO-ZEMLYANYKH  
PLOTIN in Russian 1971 signed to press 18 Nov 71 pp 1-51

[Departmental construction norms, edited by I.Ye. Dubrovskiy and L.F.  
Setko, All-Union Scientific Research Institute of Hydraulic Engineering  
imeni B.Ye. Vedeneyev, Izdatel'stvo Energiya, Leningrad, 1971, 1200 copies,  
51 pages].

## CONTENTS

### FOREWORD

### CHAPTER 1. GENERAL CONDITIONS

- Section 1. Range of Application
- Section 2. Accepted Terms and Designations
- Section 3. Purpose of Transitional Zones
- Section 4. Problems of Planning the Granulometric Composition of the Filters of Transitional Zones
- Section 5. Material for Transitional Zones
- Section 6. Initial Data for Planning

### CHAPTER 2. BASIC ESTIMATED CONDITIONS FOR PLANNING THE GRANULOMETRIC COMPOSITION OF THE MATERIAL OF TRANSITIONAL ZONES

- Section 7. General Instructions
- Section 8. Evaluating the Piping Tendency (Nonpiping Tendency) of Soils and Determining the Maximal Size of the Particles Carried Off and the Maximally Possible Percent of Removal (by Geometric Criterion)
- Section 9. Permissible Degree of Variation in Granular Size of Soils for Constructing Transitional Zones
- Section 10. Thickness of the First Layer of the Filter of a Transitional Zone
- Section 11. Estimated Pressure Gradients

### CHAPTER 3. METHOD OF PLANNING AND SELECTING THE GRANULOMETRIC COMPOSITION OF FILTERS OF TRANSITIONAL ZONES

- A. Method of Planning the Granulometric Composition of Filters of Transitional Zones
  - Planning the Granulometric Composition of the First Layer of the Filter of Transitional Zones for the Core of the Dam
- Section 12. General Instructions
  - 1. Planning the Granulometric Composition of the First Layer of the Filter for the Downstream Slope of the Core of the Dam

- Section 13. Determining the Estimated Size of the Diameter of the Seepage Pores of the Soil of the First Layer of the Filter
- Section 14. Testing the Strength of the Cohesive Soil and Granulometric Composition of the First Layer of the Filter for Contact Erosion by the Longitudinal Seepage Flow
- Section 15. Method of Determining the Estimated Sizes of the Fractions and Plotting the "Zone of Permissible Granulometric Composition of the Soil Suitable for the First Layer of the Filter"
- Section 16. Testing for Piping Strength of the Granulometric Composition of the Soil of the First Layer of the Filter
- Section 17. The Condition of Self-Healing of Cracks in the Core (Facing) of High Dams
- 2. Planning the Granulometric Composition of the First Layer of the Filter for the Upstream Slope of the Core of the Dam
- Section 18. General Instructions
- Section 19. Planning (Selecting) the Granulometric Composition of the First Layer of the Filter of the Transitional Zone for the Upstream Slope of the Core at the Section From the UMO Level to Its Foundation
- Section 20. Planning (Selecting) the Granulometric Composition of the Soil of the First Layer of the Filter of Transitional Zones of the Facing of the Dam
- Section 21. Planning (Selecting) the Granulometric Composition of the Filter Preparation for the Shoring of the Upstream Slopes of Earth Dams Made of Cohesive (Clay) Soil
- Section 22. Determining the Seepage Coefficient of Loam Soil
- Section 23. The Juncture of the Transitional Zone and the Material of the Triangles of the Dam
- Section 24. Conditions of Seepage-Piping Strength of the Transitional Zone at the Contact With the Material of the Triangle of the dam
- Section 25. An Example of Planning the Granulometric Composition of the Soil (Filters) of Transitional Zones
- B. Method of Selecting the Granulometric Composition of the Material of the Transitional Zones
- Section 26. An Example of Selecting the Granulometric Composition of the Soil (Filters) of the Transitional Zones

#### BIBLIOGRAPHY

## FOREWORD

[Text] These "Directives for Planning Transitional Zones of Earth Dams" were formulated and compiled on the instructions of the Glavniiprojekt [Main Administration of Scientific Research and Planning Organizations] of the USSR Ministry of Power and Electrification in the Laboratory of Earthen Hydraulic Engineering Installations of the All-Union Scientific Research Institute of Hydraulic Engineering (VNIIG) imeni B.Ye. Vedeneyev, by G. Kh. Pravednyy, senior scientific associate, candidate of technical sciences.

The construction of high and superhigh earth dams in our country is a very important state problem, which is raising a number of complex technical problems, requiring high-quality, new improved methods for their solution, including the strength and stability of impervious elements of the dams (cores, facings, blankets, etc.).

In the practical work of hydraulic engineering, the question constantly arises of protecting clay cores, facings, blankets and upstream slopes of dams when they are in contact with coarse-grained material.

As we know, the strength and stability of a structure, its life, and the economics of its construction depend on a correctly planned or chosen granulometric composition of the materials protecting the cohesive (clay) soil.

In taking into consideration the demands of hydraulic engineering, VNIIG, on the basis of the results of many years of widescale experimental and theoretical research in the study of physical and seepage-piping properties of both cohesive (clay) and noncohesive sand-gravel soils (see bibliography), taking into account the studies on the problems made by other scientific organizations (VNII VODGEO [All-Union Scientific Research Institute of Water Supply, Sewer Systems, Hydraulic Engineering Structures and Engineering Hydrology], NIS [scientific research station] of Gidroproyekt, etc.) and experience in planning and constructing hydraulic engineering structures, developed scientifically based directives on the method of planning and choosing the granulometric composition of the material of the transitional zone protecting the cohesive (clay) soils and the cores (facings) for high and superhigh dams made of local materials, and for dams in classes I-IV, with respect to durability.



These "Directives" stipulate maximal use, in the installation of transitional zones, of natural run-of-bank soils with various grain sizes, without expensive processing for them, which in turn makes it possible to do away with multi-layer, expensive transitional zones.

In addition, in formulating a method of planning and selecting the granulometric composition of the material for the transitional zones of high and superhigh dams, their specific characteristics were taken into consideration, such as: the nonhomogeneity, value and variety in the deposits (deformations) of the elements of high dams, the possibility of cracks forming in the core (facing) of the dam and the necessary conditions for the welding quality of these cracks, the thickness of the layers of the transitional zones, the high demands for materials to construct them and the great amount of work involved in ensuring the strength, reliability, durability and economic soundness of their construction.

The principal formulations of the method of planning and selecting the material for the transitional zones for cohesive soils were reported to the 4th All-Union Coordination Conference on Seepage, and were approved and published in "Transactions of the Coordination Conferences on Hydraulic Engineering," No 9, Energiya, 1964.

Published in a separate edition at the beginning of 1966 was the book, "Planning and Selecting the Granulometric Composition of Filters for the Transitional Zones of High Dams," Energiya, 1966, in which the theoretical and experimental material of many years of research, constituting the substantiation of the data from the "Directives" was presented.

Published at the end of 1966 for practical purposes were the "Provisional Directives for Planning and Selecting the Granulometric Composition of the Filters of Transitional Zones, Protecting Cohesive (Clay) Soils of the Cores (Facings) of High and Superhigh Dams Made of Local Materials," which was approved by Resolution No 447 of Glavtekhstroyproyekt of the USSR Ministry of Power and Electrification on 19 November 1966 and put into effect in the USSR Ministry of Power and Electrification system beginning on 1 January 1967.

In 1969, upon fulfillment of the instructions of Glavniiprojekt of the USSR Ministry of Power and Electrification for the 1971 publication of the permanently effective "Directives," the "Provisional Directives" in effect were distributed for comments to 78 scientific research, planning and construction organizations, as well as to individual specialists.

From the responses obtained, taking into consideration the critical remarks and practical recommendations, as well as the results of additional new scientific developments on this problem, the "Provisional Directives" were revised on a high scientific level and prepared, in a new edition, for approval of the Glavniiprojekt of the USSR Ministry of Power and Electrification as permanently effective "Directives."

These "Directives," in this edition of 29 June 1971, were reviewed at the committee of the VNIIG Scientific Council, approved and recommended for approval as permanently effective "Directives," replacing the "Provisional Directives," VSN 01-66.

MEIE USSR

The "Directives for Planning the Transitional Zones of Earth Dams" were approved by Resolution No 279 of Glavniiprojekt of the USSR Ministry of Power and Electrification on 26 July 1971 and are being put into effect as compulsory for all planning and construction organizations of the system of the USSR Ministry of Power and Electrification for use in planning and constructing hydraulic engineering structures beginning 1 January 1972, with the USSR Ministry of Power and Electrification No VSN 47-71.

Minenergo-USSR

USSR Ministry  
of Power and  
Electrification

DEPARTMENTAL CONSTRUCTION NORMS  
Directives for Planning the  
Transitional Zones of Earth Dams

VSN 47-71  
Replacing  
VSN 01-66  
MEIE USSR

---

Chapter 1. GENERAL CONDITIONS

Section 1. Range of application. 1. These "directives" are designed for the planning and selection (from natural run-of-bank or artificially obtained materials) of the granulometric composition of the soils of transitional zones which join the cohesive (clay) soils of the cores and facings with the coarse-grained material of the prism-triangles of high and superhigh dams (non-classified), of class I, and for dams of classes II-IV with respect to durability, which are constructed with impervious devices of the type shown in Figure 1, both deposited from sand-gravel-pebble soils and rock fill.

Somewhat lower requirements (section 7, note; section 13, b) may be adopted for earth dams of classes II-IV with respect to durability and for temporary installations.

2. When the estimated characteristics of the run-of-bank materials or artificially obtained soils (at rock crushing or sorting plants) designed for the filter materials of transitional zones go beyond the limits of the recommendations stipulated by these directives, the planned or chosen granulometric composition of the filters should be checked experimentally in the laboratory (or at the construction site).

3. Planning and selecting the granulometric composition of the filters of transitional zones protecting noncohesive (sandy loam) soils, from which impervious devices are constructed, is carried out in the same way as for noncohesive soils, in accordance with the "Instructions for Planning Filter Materials for Hydraulic Engineering Structures," VSN 02-65.

---

Introduced by the  
All-Union Scientific  
Research Institute of  
Hydraulic Engineering  
imeni B.Ye. Vedeneyev

Approved by Glavniiprojekt  
of the USSR Ministry of  
Power and Electrification  
on 26 July 1971

Introduction deadline  
1 January 1972

Note. The structure and dimensions of the core or facing made of loamy soils are established by the plan depending on the type of dam, the conditions of the work, the existence of suitable loamy materials, the climatic conditions, etc., in accordance with SNiP II-I, 4-71.

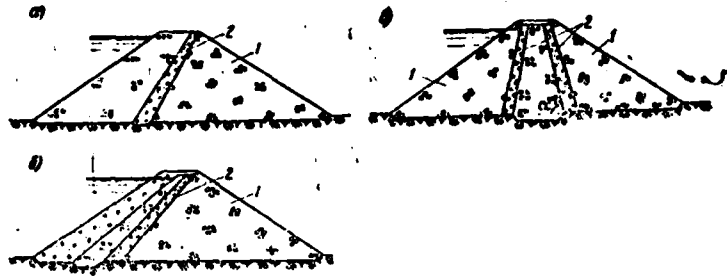


Figure 1. Earth Dams

a--with upstream impervious triangle; b--with facing; c--with core;  
1--triangle of dam--rockfill or sand-gravel-pebble; 2--transitional zones

Section 2. Accepted terms and designations. These "directives" recommend adherence to the following terms and letter designations.

#### Basic Terms

Transitional zone--the transitional layer (layers) of material between the earth core (facing) and the triangles of the dam. Moreover, the layer adjacent to the core (facing) should be planned (selected) for a granulometric composition which ensures the seepage strength of the core (facing) of the dam. When joined to the prism-triangles of the dam, the material of the transitional zone should not be spilled into the material of the prism-triangle of the dam.

Reverse filter--a layer of sand-gravel-pebble or rubble soils, preventing the soils of earthen structures and non-rocky soils of the foundations of the structures against mechanical piping, and in some cases also against heaving.

Frame of the dam--the aggregate of its particles, receiving and transmitting the action of external forces and ensuring the strength and stability of the soil.

Earth filler--the particles in the pores of the earth frame.

Piping--breaking away and shifting, caused by the seepage flow within the soil, of small particles, or their removal, or the dissolving of the water-soluble salts contained in the soil or their washing away, as the result of which the strength and stability of the soil may be disturbed. The following types of

piping are differentiated: mechanical and chemical. In these directives only mechanical piping will be discussed.

Mechanical piping--the breaking away and shifting within the soil and removal of fine particles from its mass as the result of seepage flow.

Internal mechanical piping--the shift of fine particles within the soil through seepage flow.

External mechanical piping--the removal of fine particles from the soil through seepage flow.

Dangerous mechanical piping--the breaking away, shifting and removal of fine particles and particles of the frame of the soil to the extent that its strength and stability are disturbed, as the result of seepage flow.

Silting--the deposit in the pores of the soil of fine particles carried by the seepage flow.

Piping soil--soil in which mechanical piping may occur and develop with seepage rates exceeding the critical.

Non-piping soil--soil in which mechanical piping is impossible.

Practically non-piping soil--soil from which the seepage flow may carry away (with respect to the geometrical criterion) the finest unbound particles in an amount of not over 3-5% by weight, with the strength and stability not being disturbed by the removal.

Seepage strength of the soil--the capacity of the soil to resist the occurrence of seepage deformations.

Seepage deformations of the soil--deformations formed when the seepage strength of the soil is disturbed (as the result of mechanical piping, silting, seepage heaving or compaction and contact erosion).

Soil spilling into the filter--the shifting of fine fractions from the contact soil to the filter layer (or the soil of layer 1 into the second, or into the rock fill) due to the force of gravity.

Forcing the filter into the soil--the introduction of fractions of the filter in the contact soil, occurring because of the force of gravity and external loads.

Contact area of the soils--the area including the boundary of two contiguous soils, differing in their granulometric composition, which is determined by the depth of the possible penetration of the particles of one soil into the other.

Stratification of the soil--the separation of large particles from fine ones which takes place in the transport, unloading and dumping of the soil.

Heaving--the breaking off and simultaneous shifting of the entire volume of soil, caused by an upward seepage flow.

Exfoliation of the soil--the breaking off of clumps of particles of cohesive (clay) soil in the contact zone (in the pores) with the coarse soil or soil of the reverse filter.

Permissible exfoliation--the breaking off of clumps of particles of cohesive soil in the contact zone with the soil of the filter material (in the pores) to a depth equal to or less than half of the diameter of the pores of the filter soil, with the formation of stable anticlines (without erosion of the contact).

Dangerous, inadmissible exfoliation--the breaking off of clumps of particles of cohesive soil in the contact zone with the soil of the filter material (in the pores) to a depth greater than half of the diameter of the pores of the filter soil, with the possibility of deformations occurring in the cohesive soil.

Contact erosion--erosion of fine or cohesive (clay) soil upon contact with coarse soil (filter) due to longitudinal seepage.

#### Letter Designations

- D--diameter of particles of soil of the reverse filter;
- $D$  --average diameter of the seepage pores in the filter layer;
- $D_{\text{max}}$  --maximal diameter of the seepage pores in the filter layer;
- $D_{\text{est}}$  --estimated diameter of the seepage pores of the soil of the filter;
- $D_{10} \dots D_{17} \dots D_{60}$  --diameters of the particles of the soil of the reverse filter;
- $\eta; \eta_p; \eta_d = \frac{D_{60}}{D_{10}}$  --coefficient of variation of granular size of the soil and the soil of the reverse filter;
- $n; n_d$  --porosity of the soil and the soil of the reverse filter (in fractions of a unit);
- $K_r; K_p$  --coefficient of seepage of the soil and the soil of the reverse filter;
- $\varphi$  --coefficient taking into consideration the shape and roughness of the soil particles;
- $d$  --diameter of the particles of the soil protected by the reverse filter;
- $d_{cr}$  --diameter of the arch-forming particles of soil;
- $d_{cl}$  --diameter of the (piping) particles of soil carried away by the seepage flow;
- $d_k$  --diameter of the (silting) particles of soil at which the silting of the filter (or soil) begins;
- $d_{10} \dots d_{17} \dots d_{60}$  --diameters of the soil particles;
- $I_{kp}; v_{kp}$  --critical pressure gradient and seepage rate at which the mechanical piping or erosion of the soil begins;

$\varphi_0$  --coefficient of critical rate;  
 $f_*$  --derived coefficient of friction;  
 $I_{\text{доп}}; V_{\text{доп}}$  --permissible gradient of pressure and seepage rate, equal to the critical (reduced), with respect to the safety factor;  
 $I_p$  --estimated gradient of pressure, determined by the seepage estimate or EGDA method;  
 $\theta$  --angle between the directions of the seepage rate and the forces of gravity;  
 $\chi$  --coefficient of nonuniformity of distributing the particles of soil (filter), or coefficient of piping localization;  
 $\gamma_s$  --volume weight of dry soil;  
 $\Delta$  --specific gravity of soil particles;  
 $\gamma_w$  --volume weight of water;  
 $\nu$  --coefficient of kinematic viscosity of the water  
 $W$  --moisture content of the soil  
 $W_m$  --maximal molecular moisture capacity of cohesive soil;  
 $W_f$  --limit of flowability of the soil;  
 $W_r$  --limit of rolling out of the soil;  
 $W_p$  --plasticity number of the soil;  
 $G$  --coefficient of water saturation (moisture content) of the soil;  
 $\bar{\alpha}_r$  --coefficient of porosity at the limit of flowability of the soil;  
 $g$  -- acceleration of the force of gravity;  
 $H$  --pressure head;  
 $T$  --thickness of the filter layer.

Section 3. The purpose of transitional zones. Transitional zones are the transitional, intermediate layers of soil joining the loamy (cohesive) material of the core or facing with the coarse-grained material of the triangle of the dam (pebble or rock fill).

The principal purpose of transitional zones is to protect the cohesive (clay) soil of the core (facing) of the dam from seepage deformations (exfoliation) and mechanical piping and contact erosion, and to ensure the welding of cracks in the core of the dam if it is possible for them to form, as well as to ensure reliable union of the core (facing) with the dam triangles or the overburden from the upstream side of the facing.

Section 4. Problems of planning the granulometric composition of the filters of transitional zones. The solutions to the following basic problems are among those included in planning the granulometric composition of the filters of the transitional zones of dams:

1. Establishing the degree of soil cohesiveness of the core (facing) of the dam and its estimated parameters (granulometric composition, weight by volume, porosity, plasticity number, water saturation coefficient, etc.) characterizing it as cohesive (clay) soil, satisfying all the demands made of this category of soils, and the choice of the composition of the filters which are made in accordance with the method for cohesive soils.
2. Determining the hydrodynamic conditions of the seepage flow in contact zones (estimated pressure gradients in the core and facing upon emergence in

the first layer of the filter and along the contacts), being determined either by seepage estimates or by EGDA methods, or by other experimental and visual methods.

3. Planning the granulometric composition of the first layer of the filter (if there are no data on the run-of-bank or artificially obtained soils) in accordance with the condition of the inadmissibility of deformations of the exfoliation of clumps of particles of the cohesive soil of the core (facing) of the dam at the contact with the first layer of the filter and the following layers (if required), according to the condition of a lack of "tendency to spill" and the seepage strength and stability of the contacts.

4. Selecting the run-of-bank or artificially obtained soils (if there are quarries or the products of rock-crushing plants), which may be used for the construction of transitional zones, taking into consideration the technical and economic expediency of their use. When there are several quarries for the installation of transitional zones in the vicinity of the structure being erected, the lowest cost of the work in using them (location, transport, developmental conditions, etc.) should be the guidelines in the choice of one or several of them.

5. Checking the planned or chosen granulometric composition of the soils of transitional zones for seepage strength and the stability of the contact and for the condition of inadmissibility of deformations from the exfoliation of clumps of particles of cohesive soil, its erosion upon contact with the first layer of the filter and erosion of the contacts of the succeeding layers during contact seepage (along the layers) and dangerous mechanical piping in the actual layers of the transitional zone (in addition to that mentioned in sections 3 and 4).

6. Checking the planned or chosen granulometric composition of the first layer of the filter of the transitional zone for the condition of self-welding of longitudinal cracks in the core of the dam if the possibility of their formation is established.

7. Determining the thickness and number of layers of the transitional zone, not only with respect to the work, but also taking into consideration the stratification along the height of the material of the triangles of the dam when they are constructed, as well as taking into consideration possible horizontal deformations of the structure.

8. Establishing the permissible limits of possible deviations in the granulometric composition, the thickness of the layers and the porosity (or volume weight) of the soils of the transitional zone filters.

9. Testing experimentally, under laboratory conditions or at an experimental section at the construction site, the planned composition of the material of the transitional zone when the estimated characteristics of the run-of-bank soils or soils obtained at rock crushing plants, designated for the transitional zones, are outside the recommended limits stipulated by these



directives. For this purpose, depending on the tasks of the experimental checking, a program and method of experimental research should be formulated.

Section 5. The material for transitional zones. Only noncohesive natural or artificially obtained soils from hard and solid rock containing no water-soluble salts should be used for the filters of the transitional zones. Among these soils are: sandy, gravel-pebble soil, rubble, rubble wastes of rock-crushing plants.

Natural or artificially obtained sand should consist of solid hard rock: feldspar, quartz, or a mixture of them.

Gravel, pebbles and rubble soils should come from solid, hard, frost-resistant rock, not subject to weathering and leaching.

The maximum crushing strength of the rock for the transitional zones of dams should correspond to the strength of the basic dam embankment, but be at least  $300-400 \text{ kg/cm}^2$ . In the tests for frost resistance, they should withstand at least 50 cycles of freezing and thawing at a temperature of  $\pm 17^\circ\text{C}$ , with the loss in weight not exceeding 5%.

Section 6. Initial data for planning. The following initial data should be known when planning the filters for transitional zones:

1. The type and design of the cross section of the dam with the impervious devices adopted in the plan and the method of constructing it (constructed by layer-by-layer deposit and compacting, depositing by the pioneer method for a great height, a combined method, dry, with water, etc.);
2. Data on the material of the core and facing of the dam: the granulometric composition, volume weight, specific gravity, porosity, plasticity limits and number, coefficient of water saturation and others, and their estimated characteristics adopted in the plan;
3. Data on the possible horizontal shifts of the core or triangles of the dam and data on the possible formations of individual (longitudinal) cracks in the core (facing) of the dam;
4. Data on the materials of the triangles of the dam (sandy-pebble, made of riprap, etc.) and its physical characteristics: granulometric composition, volume weight, specific gravity, porosity, etc.;
5. Data on the availability and supplies of local materials (quarries), designed for the construction of the transitional zones, data on the conditions for extracting and transporting them as well as their physical characteristics, mentioned in section 4 of this paragraph;
6. The estimated values of the pressure gradients of the seepage flow, adopted in the plan on the basis of seepage calculations or according to the EGDA

method: maximal estimated pressure gradient ( $I_P^{\max}$ ) when the seepage flow oozes into the downstream slope of the core (facing) of the dam on contact of the core and the first layer of the filter, etc.

## Chapter 2. BASIC ESTIMATED CONDITIONS FOR PLANNING THE GRANULOMETRIC COMPOSITION OF THE MATERIAL OF THE TRANSITIONAL ZONES

Section 7. General instructions. 1. Only noncohesive natural or artificially obtained natural soils made of hard and dense rock and not containing water-soluble salts should be used to construct the transitional zone (Chapter 1, section 5).

The granulometric composition of the material of the transitional zones may be planned or selected to be nonpiping, as well as piping.

The filters of the transitional zone with a piping composition, however, should be checked for the seepage-piping strength, i.e., so that for the given hydrodynamic conditions their work in the filter material does not cause dangerous mechanical piping and does not disturb its seepage strength.

2. The recommendations given below for planning and selecting the granulometric composition of the first layer of the filter of the transitional zone extend to filters of the transitional zone which protect cohesive (clay) drained soil.

The cohesive soils (loam and clay) may be characterized by their compositional content of clay particles  $d < 0.005$  mm in size:

Loams . . . . .	10-30%
Clays . . . . .	over 30%
and with a plasticity number $W_p$ :	
loams . . . . .	$7 \leq W_p \leq 17$
clays . . . . .	$W_p > 17$

3. In these directives the planning and selecting of the granulometric composition of the first layer of the filter of the transitional is recommended for cohesive soils (imperfect structure) with a plasticity number  $W_p \geq 7$  with a fluctuation in the moisture content in the plasticity interval, i.e., when  $W_r \geq W \geq W_p$ , where  $W_r$  is the flowability limit and  $W_p$  is the flattening limit of the soil.

In this case the clay soil should have molecular cohesion, which may be expressed by the value of the volume weight of the dry (frame) soil [4].

The volume weight of the dry (frame) protected cohesive soil at its placement should be

$$\gamma_{\text{ck}} > \gamma'_{\text{ck}} = \frac{\Delta}{1 + \varepsilon_r} \quad (1)$$

where  $\Delta$  is the specific gravity of the soil particles in g/cm<sup>3</sup>;  $\varepsilon_r$  is the coefficient of porosity with  $W_r$ :

$$\varepsilon_r = \frac{\Delta W_r}{100 \gamma_w} \quad (2)$$

where  $\gamma_w$  is the volume weight of the water  $\approx 1$  g/cm<sup>3</sup>.

4. The recommendations given below on the method of planning and selecting the granulometric composition of the first layer of the filter of the transitional zones protecting cohesive (clay) soils are stipulated for high and superhigh dams (non-classified) and of class I with respect to durability--the condition of inadmissibility of breaking away or separation of clumps of particles of cohesive soil at the contact with the soil of the first layer of the filter.

5. The granulometric composition of the first layer of the filter of transitional zones to soils with a plasticity number of  $W_p < 7$  is planned or selected in the same way as for noncohesive soils in accordance with [1], or the final decision is made after special experimental studies have been made in accordance with the specific conditions.

Note. For dams of classes II-IV with respect to durability and for temporary structures, a small amount of scaling (not affecting the strength) may be permitted for the clay soil at the contact with the first layer of the filter (in the pores) for the value  $\Delta S = \frac{D_0^{\text{max}}}{2}$ . Here the maximal size of the pores of the soil of the first layer of the filter should be  $D_0^{\text{max}} \leq 1.5$  cm, and the clay soil of the core (facing) should have a plasticity number of  $W_p \geq 7$  (and  $W_p \geq 5$  for temporary structures).

Section 8. Evaluating the piping tendency (nonpiping tendency) of the soils and determining the maximal size of the particles carried off and the maximally possible percent of the removal (by geometric criterion). When the selection of the composition of the transitional zones is begun, it is above all necessary to determine the category to which the run-of-bank or artificially obtained soils belong and whether these soils are piping or nonpiping.

Two methods are recommended for solving this problem: the first method characterizes the nonpiping nature of the soil when the finest particles are not removed at any seepage rate.

The second method characterizes the soil as practically nonpiping, from which a negligible removal of extremely fine unrestrained particles is permissible, but without disturbing its strength.

The first method. From the given parameters of the soil being studied, the diameter of the maximal seepage pores in the soil,  $D_0^{\max}$  is determined by the following relationship:

$$D_0^{\max} = 0,455 \sqrt[4]{\frac{n_{\phi}}{1-n_{\phi}}} D_{17}, \quad (3)$$

where  $\alpha$  is the coefficient of the nonuniformity of the distribution of the particles in the soil or the coefficient of the piping localization:

$$\alpha = 1 + 0,05 \gamma_{\phi}; \quad (4)$$

$\gamma_{\phi} = \frac{D_{60}}{D_{10}}$  is the coefficient of the variation in granular size of the soil;  $n_{\phi}$  is the porosity (in fractions of a unit);  $D_{17}$  is the diameter of the particles contained in the soil in an amount of 17% and less (by weight).

Then, along the curve of the granulometric composition of the given soil, we find the minimal diameter of its particles  $D_{\min}$ .

If it proves that

$$0,77 D_0^{\max} > D_{\min}, \quad (5)$$

the soil should be considered piping; from such soil there may be a removal of all the particles with a size less than or equal to

$$D_{cl}^{\max} < 0,77 D_0^{\max}, \quad (6)$$

where  $D_{cl}^{\max}$  is the maximal diameter of the piping particles which may be removed from the mass of soil at the corresponding rates of seepage (greater than the critical--  $v_{kp}$ ).

If, however, it turns out that

$$0,77 D_0^{\max} < D_{\min}, \quad (7)$$

the soil should be considered as nonpiping. Even the finest particles cannot be removed from such soil.

The maximal possible percent of removal of piping particles from the soil (according to the geometrical criterion) is determined from the relationship (6) for  $D_{cl}^{\max}$ .

Knowing  $D_{cl}^{\max}$ , we determine the unknown maximal percent of removal from the curve of granulometric composition.

Second method. Practical experience shows that if the very finest unrestrained particles are removed from the soil in an amount of not more than 3-5% by weight, the strength of the soil is not disturbed. Consequently, soil from which the finest particles may be removed by the seepage flow in an amount of not more than 3% (5%) by weight may be considered as practically nonpiping.

Run-of-bank or artificially obtained soil destined for the filters of transitional zones should be regarded (according to the geometrical criterion) as practically nonpiping if its parameters satisfy the following relationship:

$$\frac{D_2}{D_{11}} > N, \quad (8)$$

where  $N = (0.32 + 0.016 \eta_\phi) \sqrt[4]{\eta_\phi \frac{\eta_\phi}{1 - \eta_\phi}}$

If the relationship (8) is not satisfied, the soil should be considered as piping.

Note. The methods given in section 8 to determine the piping tendency (non-piping tendency) of the soils extend not only to soils of reverse filters but also to all natural run-of-bank, artificially obtained noncohesive soils of broken and unbroken structure.

Section 9. The permissible degree of variation in granular size of the soil for construction of transitional zones. Many years of research carried out in laboratories and in the field on studying the degree of nonuniformity of distribution of the soil particles and its tendency to stratification, observations of the work done in placing the material of the filters [2], as well as the great thickness of the layers of the transitional zones with their construction makes it possible to substantiate the recommendation that soils with a high degree of variation in granular size be used. This makes it possible to use natural run-of-bank soils for the filters of transitional zones without their additional, expensive processing--sifting out the coarse and washing away the fine fractions, dressing, crushing, etc., as is done for thin-layer filters, in order to obtain homogeneous material.

1. The coefficient of variation in granular size of the soil of the first and subsequent layers of the transitional zones for high and superhigh dams (non-classified) and of class I with respect to durability, which protect cohesive soils should be designated [2]:

$$\eta_\phi^{\text{non}} = \frac{D_{90}}{D_{10}} < 50. \quad (9)$$

As practical experience shows, placing the soil with  $\eta_\phi \leq 50$  when erecting thin-layer filters layer by layer with leveling and compaction, given a certain moisture content (up to 5%) ensures its homogeneity by layer.

2. The first layer of the filter of the transitional zone protecting cohesive soil may have the coefficient of variation in granular size assumed as  $\eta_\phi > 50$  with the proper substantiation:

a) If it includes sandy fractions,  $d=0.05-2$  mm in an amount not less than 20-25%;

- b) The estimated diameter of the pores of the soil (with  $\eta_\phi > 50$ ), when it is not advantageously distributed should be greater than the actual maximal, i.e.  $D_0^{pact} > (1.25-1.50)D_0^{max}$ ;
- c) The granulometric composition of the soil with  $\eta_\phi > 50$  should satisfy the criterion of the ability to silt up and weld cracks in the core (facing) of the dam (which creates a reserve strength);
- d) Removal of fine piping fractions  $d_i$  from the given composition of the soil (with  $\eta_\phi > 50$ ), with the contact seepage and given specific hydrodynamic conditions should be less than  $D_5$ , i.e.  $d_i < D_5$  (with a certain reserve as compared with the relationship (29)--"the removal criterion");
- e) The given composition with  $\eta_\phi > 50$  should satisfy the criterion (20), i.e., the condition of inadmissibility of the erosion of cohesive soil with longitudinal contact seepage.

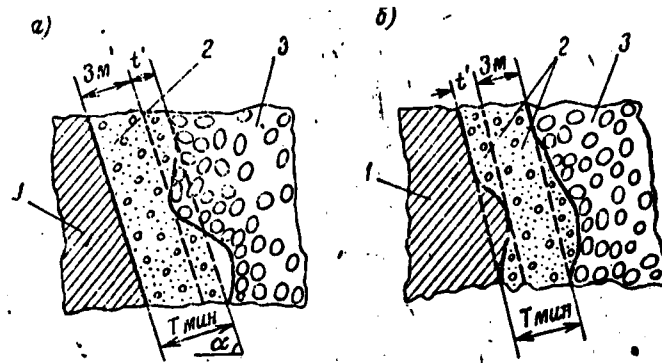


Figure 2. Diagram of a Transitional Zone

1--core of the dam; 2--transitional zone (filter); 3--triangle of the dam;  $t'$ --horizontal shift of the triangle or core of the dam.

If the above conditions are not satisfied, the suitability of the given composition of the soil may be checked experimentally.

Section 10. The thickness of the first layer of the filter of the transitional zone. a) Impervious devices (core, facing) and the supporting triangles of high dams undergo deformations different in value and direction, with which considerable shifts are possible in the triangle of the dam in the direction of the core or vice-versa. In such cases there may be a fracture of the first layer of the filter of the transitional zone, if its thickness is negligible, for example, equal to  $t'$  (Fig. 2). Consequently, the construction of the first layer of the filter of the transitional zone with a fine-layer is not permitted for high dams.

When the first layer of the filter of the transitional zone is constructed with considerable thickness, the undesirable phenomena of the fracture of the layers with uneven and varied settling of the elements of the dam, as well as with seismic action on the dam, will be eliminated. Here the possibility of the fracture (rupture) of the transitional zone will be eliminated (Fig. 2), even though deformations may occur.

b) When the layer of the filter is very thick it becomes possible to use natural run-of-bank soils varied in granular size, with a high degree of granular variation coefficient ( $\eta_p \leq 50$  and above) without their expensive processing (washing away the fine and sifting the coarse fractions, as is done for thin-layer filters).

c) The thickness of the first layer of the filter of the transitional zone for high dams should be designated not only with respect to the seepage conditions and the work conditions, but also in consideration of the possible horizontal shifts of the elements of the structure (core and triangle of the dam) due to uneven settling.

The minimal thickness of the first layer of the filter of the transitional zone  $T_{\min}$  for this type of dam should be (Fig. 2):

$$T_{\min} \geq 3 + t' \text{ (m)}, \quad (10)$$

where  $t'$  is the total size of the horizontal shifts of the core or triangle of the dam (in m), determined by calculation or by the data from research.

Note. The thickness of the next layers of the transitional zone, if they are necessary, may be designated from the work conditions, but be at least 3-3.5 m.

Section 11. Estimated pressure gradients. 1. When planning or selecting the granulometric composition of the first layer of the filter of the transitional zones protecting cohesive (clay) soil, the estimated value of the gradient of the seepage flow  $i_p$  in cohesive soil at the emergence into the first layer of the filter should be known.

The estimated value of the pressure gradient of the seepage flow at the section of seepage of the core or facing of the dam may be determined either by the seepage estimates or by the EGDA method.

For the core of the dam, the gradient of the seepage flow, with its emergence onto the downstream surface of the core in the first layer of the filter may be determined by the following relationship (Fig. 3):

$$i_n = \frac{\sin \alpha}{\cos \beta}, \quad (11)$$

where  $\beta$  is the angle between the line of flow and the downstream edge of the core, and is taken from the hydrodynamic system constructed by the graphic method.



For the core of the dam, however, recommended for the estimated pressure gradient is the maximal gradient at the section of seepage with the emergence of the seepage flow into the first layer of the filter at the water level of the tailwater (where  $\beta \approx \alpha$ ), which may be assumed equal to:

$$I_{\text{max}}^{P(\alpha < 85^\circ)} \approx \text{tg } \alpha, \quad (12)$$

where  $\alpha$  is the angle of incline of the downstream slope of the core to the horizon\* (Fig. 3).

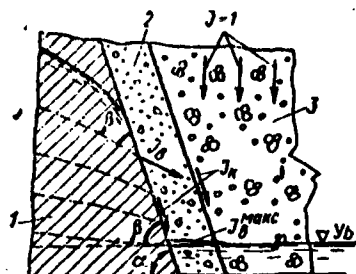


Figure 3. Estimate Pressure Gradients

1--core of the dam; 2--transitional zone (filter); 3--material of the triangle of the dam;  $\alpha$ --angle of incline of the downstream slope of the core toward the horizon;  $\beta$ --angle between the line of flow and the downstream edge of the core;  $I$ --pressure gradient with vertical (from top to bottom) seepage of the water in the triangle of the dam;  $I_k$ --pressure gradient (oozing) with the emergence of the seepage flow at the downstream surface of the core in the filter layer;  $I_{\text{max}}$ --same maximal pressure gradient (oozing) at the water level of the tailwater ( $\beta \approx \alpha$ ).

Consequently, the estimated pressure gradient at the contact of the core and the first layer of the filter may be taken as

$$I_k = \sin \alpha, \quad (13)$$

where  $\alpha$  is the same as in formula (12).

The given pressure gradient  $I_k$  should be less than the critical one (sect. 14), when in the contact zone there will be no breaking off of clumps of particles of the cohesive soil of the core of the dam and no erosion of the contact zone.

3. When there is a runoff of seepage water (or storm waters) along the contact of the first layer with the second layer of the filter,  $I_k$  may be assumed for the estimated pressure gradient from the relationship (13), and in the case of

\* The maximal angle of the core of the dam is customarily recommended as  $\alpha \leq 76-80^\circ$ .

vertical seepage in sand-pebble soil of the dam embankment, i.e., with a flow (storm water, etc.) of the waters downward, the estimated pressure gradient may be taken as  $I=1$  (Fig. 3).

These checks of the piping strength of the contact zone of the first and second layers of the filter, as well as of the piping strength of the actual sand-gravel-pebble triangle of the dam, should be made if called for by the specific practical conditions.

Note. The practical work and verificational estimates show that the runoff of water down along the first layer of the filter at the contact with the second layer, in the process of operation, is almost never observed, and the penetration of storm waters inside the embankment of the dam extends to a negligible depth.

4. For the facing of the dam, it is recommended that the estimated gradient of the pressure with the emergence of the seepage flow from the downstream side of the facing into the first layer of the filter be assumed as (Fig. 9):

a) When the downstream triangle of the dam is made of riprap:

$$\frac{q_2}{z} = q_1 \quad (14)$$

where  $z$  is the pressure exerted on the dam;  $\delta_2$  is the thickness of the facing (according to the standard specifications);

b) When the downstream triangle of the dam is made of sand-gravel-pebble soils:

$$I_p = \frac{z'}{\delta_2} \quad (14')$$

where  $z'$  is the pressure head at the section of the facing at the spot adjacent to the depression curve (constructed for the embankment of the dam);  $\delta_2$  is the thickness of the facing according to the standard specifications.

5. In the appropriate cases, when the need arises to protect the facing from the upstream side (if there is a reduction in the water level in the headwater and the seepage waters ooze out onto the upstream slope), it is recommended that the estimated pressure gradient be taken as:

$$I_p \approx \operatorname{tg} \beta_0 \quad (15)$$

where  $\beta_0$  is the angle of incline of the upstream slope of the facing toward the horizon ( $\beta_0 < 90^\circ$ ).

6. In the estimates (verifications) of the composition of the filter for contact erosion of the upstream slope of the facing (dam), on condition of a pulsing regime and longitudinal seepage into the layer of the filter (from the rise and fall of the waves), the estimated pressure gradient should be taken as:

$$I_{\pi}^p = k_{\pi} / k. \quad (16)$$

where  $k_{\pi}$  is the coefficient, calculating the pulsing regime of the longitudinal seepage (with respect to the eroded pressure gradient with uniform established longitudinal seepage)\*:  $k_{\pi}=1.13-1.50$  (the mean value  $k_{\pi}=1.35$  is recommended for estimates);  $I_k$  is the gradient in the filter layer (filter preparation) at the contact with the cohesive soil of the facing (for the downstream slope of the dam):

$$I_k = \sin \beta_0. \quad (17)$$

where  $\beta_0$  is the same as in formula (15).

---

\* From the data of N.N. Belyashevskiy, professor and doctor of technical sciences, and N.G. Bugay, candidate of technical sciences.

### Chapter 3. THE METHOD OF PLANNING AND SELECTING THE GRANULOMETRIC COMPOSITION OF THE FILTERS OF TRANSITIONAL ZONES

In the practical work of planning the granulometric composition of the filters of transitional zones, the need arises to solve the problem for one or two possible variants.

Variant 1. The granulometric composition of run-of-bank soils destined for construction of transitional zone filters is unknown.

In this case the granulometric composition of the filters of the transitional zones must be planned to select the appropriate quarries or for the task of preparing them artificially, at rock crushing plants.

Variant 2. The granulometric composition of run-of-bank soils or the output of rock crushing plants is known.

In this case the appropriate composition of the filters of the transitional zones must be selected from the given soils.

Presented below for these two variants is a method of planning and a method of selecting the granulometric composition of the filters of the transitional zones.

#### A. Method of Planning the Granulometric Composition of the Filters of the Transitional Zones

Planning the granulometric composition of the first layer of the filter of the transitional zones for the core of the dam.

Section 12. General instructions. When planning the granulometric composition of the first layer of the filter of transitional zones of the core of a dam, the basis should be the hydrodynamic conditions which affect the seepage-piping strength and stability of the core, as well as the requirements which in this case should be made of the material of the first layer of the filter for the downstream and upstream sides of the core of the dam [17, 18].

On the downstream side of the core of the dam the work of the filters of the transitional zones takes place under complex hydrodynamic conditions, which

makes it necessary to make high demands of the granulometric composition of the filters, which should ensure the strength and reliability of the core of the dam, preventing the breaking off or separation of clumps of particles of the material of the core in the pores of the filter, the erosion of the core upon contact by the seepage flow, proceeding in the first layer of the filter. In addition, the material of the first layer of the filter should ensure the welding of cracks in the core of the dam if they form.

As for the transitional zone on the upstream side of the core of the dam, two sections should be differentiated along the height of the core and two different work regimes for the filter on the upstream side of the core (Fig. 4).

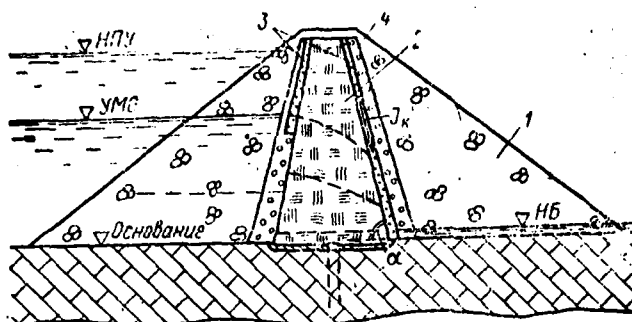


Figure 4. Earth Dam With Core

1--riprap; 2--core (facing) of the dam; 3--first layer of the filter of the transitional zone; 4--second layer of the filter of the transitional zone;  $\alpha$ --angle of incline of the downstream slope of the core toward the horizon;  $I_k$ --sin  $\alpha$ --gradient of the pressure of the contact seepage (with the runoff of the seeping water along the surface of the downstream slope of the core in the first layer of the filter).

At the section of the core from the NPU [normal backwater level] to the UMO [expansion unknown], the seepage regime may correspond to the seepage regime of the downstream slope of the core when the reduction in the water level in the headwater takes place more rapidly than the yield of water from the soil of the core of the dam.

At the section from the UMO to the base of the core, the transitional zone of the upstream slope of the core will be in a different and most favorable seepage regime, different from the seepage regime of the transitional zone from the downstream side of the core.

In this case the soil of the core of the dam in the pores of the filter will not break off (separate) due to the seepage flow from the embankment of the core of the dam, but will be pressed to the embankment of the core, since the direction of the seepage goes toward the downstream edge of the dam core.

In addition, in this part of the core of the dam (from its foundation to the UMO) there is no contact seepage between the core and the first layer of the filter, which eliminates the possibility of the erosion of the core resulting from contact seepage.

Taking into consideration the above, the granulometric composition of the first layer of the filters for the transitional zones of the core of the dam should be planned separately for the downstream and upstream slopes, in accordance with the method given below.

# 1. Planning the Granulometric Composition of the First Layer of the Filter for the Downstream Slope of the Core of the Dam

Section 13. Determining the estimated size of the diameter of the seepage pores of the soil of the first layer of the filter. If the characteristics of the cohesive soil are of the values (see section 7) at which molecular cohesion is ensured between the clumps of the particles, if there is seepage flow in the clay soil, toward the underlying layer (filter) with a pressure gradient  $I$ , a hydrodynamic pressure will be exerted on the clumps of cohesive soil in the unprotected places in the pores which will tend to tear both individual particles and entire clumps away from the mass of the cohesive soil.

In order to avoid breaking away or separation of the cohesive soil in the unprotected places (pores), the size (diameter) of the pores of the material of the first layer of the filter should be such as to ensure molecular cohesion between the clumps of the particles of cohesive soil.

A. For conditions when it is inadmissible for clumps of particles of cohesive soil to break off or separate at the contact with the soil of the first layer of the filter, the estimated diameter of the pores,  $D_0^{pacc}$  of the material of the first layer of the filter protecting the cohesive soil should be determined from the following relationship:

$$D_0^{pacc} = \sqrt{\frac{0.34}{\varphi/p + \cos \theta}} \text{ (cm)} \quad (18)$$

with  $D_0^{pacc} \leq 0.583 \text{ cm}$ ,  $\theta = 0^\circ - 90^\circ$ .

When  $\theta = 0^\circ$ , i.e., when the direction of the seepage coincides with the direction of the force of gravity, the relationship (18) takes the form:

$$D_0^{pacc} = \sqrt{\frac{0.34}{\varphi/p + 1}} \quad (18')$$

It is recommended that the relationship (18') be used when planning (selecting) filters for the facings of dams (and also, with a certain reserve, for the cores of dams);  $\varphi$  is the experimental coefficient of the pressure gradient, the values of which  $\varphi = f(I_p)$  are given in the table.

Values  $\varphi = f(I_p)$

$I_p$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	>10
$\varphi$	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.41	0.42	0.43	0.44	0.45

B. For conditions of the possible admissibility of some separation of the clumps of particles of cohesive soil (see Chapter 2, section 7, note), for dams of classes II-IV with respect to durability and for temporary structures:

$$D_0^{\text{pac}} = \sqrt{\frac{2.25}{\varphi I_p + \cos \theta}} (cM), \quad (18a)$$

where  $D_0^{\text{pac}} \leq 1.5 \text{ cm}$ ,  $\theta = 0^\circ - 90^\circ$ .

$I_p$  is the estimated pressure gradient with emergence from the cohesive soil to the first layer of the filter, determined by seepage estimates or the EGDA method; for the core of the dam it is assumed according to the relationship (12);  $\theta$  is the angle between the directions of the seepage and the force of gravity.

Consequently, in order to avoid separation of the cohesive (clay) soil in the zone of contact with the coarse-grained material--filter or of the deformations (when some separation is permissible), the protective layer of coarse grained material (filter) should be selected with a granulometric composition that will satisfy the basic condition:

$$D_0^{\text{max}} \leq D_0^{\text{pac}}, \quad (19)$$

where  $D_0^{\text{max}}$  is the maximal size of the seepage pores of the coarse-grained material--the first layer of the filter, determined from the relationship (3).

Section 14. Checking the strength of the cohesive soil and the granulometric composition of the first layer of the filter for contact erosion by the longitudinal seepage flow. a) The seepage flow at the emergence from the core of the dam will flow along the downstream slope of the core in coarse-grained material of the first layer of the filter.

The cohesive soil of the core of the dam, coming into contact with the coarse grained material of the first layer of the filter, should not undergo contact erosion and destruction by the seepage flow. Therefore, the granulometric composition of the first layer of the filter with the estimated diameter of the seepage pores  $D_0^{\text{pac}}$  or  $D_0^{\text{max}}$ , assumed from the relationship (18), (18'), (18a) or from the basic condition (19), should be checked for suitability for ensuring the strength of the cohesive soil with contact seepage (for contact erosion).

b) Cohesive soil with a plasticity number of  $W_n \geq 7$  and a moisture content coefficient of  $G \geq 0.80-0.85$ , coming in contact with the coarse-grained material of the first layer of the filter, will not undergo contact erosion and destruction, if the material of the first layer of the filter is selected so that with the passage in it of the seepage flow, hydrodynamic conditions are created under which the strength and stability of the cohesive soil will not be disturbed.

For conditions when there must be no erosion in the zone of contact of the cohesive soil with coarse-grained material, the maximal size of the pores in it  $D_0^{\max}$  should enable the following condition to be satisfied:

$$I_k \leq 0.75 I_{kp} \quad (20)$$

where  $I_k$  is the estimated pressure gradient in the coarse-grained soil at the contact with the cohesive soil and is assumed from the relationship (13);  $I_{kp}$  is the critical pressure gradient for the cohesive soil coming into contact with the coarse-grained material:

$$I_{kp} = \frac{1}{\sqrt{D_0^{\max}}} \sim 0.75, \quad (21)$$

where  $D_0^{\max}$  in cm is determined according to the relationship (3), and  $D_0^{\max} \leq 1.8$  cm.

c) If condition (20) is not satisfied, this indicates that the assumed granulometric composition of the soil of the first layer of the filter, in accordance with condition (19) should be changed.

To find the new composition of the first layer of the filter, we proceed in the following way. From the relationship (20) we determine for the given specific conditions the value of  $I_{kp}$ , which will be equal to  $I_k:0.75$ . Then, this value is substituted in relationship (21), and solving it for  $D_0^{\max}$ , we obtain:

$$D_0^{\max} = \frac{0.56}{(I_k + 0.56)^2} \text{ (cm)}. \quad (22)$$

The new granulometric composition of the first layer of the filter, the maximal size of the pores of which corresponds to the relationship (22), will satisfy the basic condition (19) and condition (20).

d) Determination of the estimated dimensions of the fractions ( $D_{10}$ ,  $D_{17}$ ,  $D_{60}$  and  $D_{100}$ ) of the given composition of the soil and plotting its curve of granulometric composition is carried out below in section 15, except that in the relationship (23), instead of  $D_i^{\max}$ ,  $D_0^{\max}$  is substituted, obtained from the relationship (22).

Section 15. The method of determining the estimated sizes of the fractions and plotting the "zone of permissible granulometric composition of the soil



suitable for the first layer of the filter." The condition of the inadmissibility of deformations of the cohesive soil in the zone of contact with the material of the first layer of the filter is taken as the basis of the method of planning the granulometric composition of the first layer of the filters of transitional zones. This condition is determined by the relationships (18), (18'), (18a), (22) and (19).

On the basis of the condition assumed, the method of determining the estimated dimensions and the basic fractions of the first layer of the filter is given below:

a) Knowing from the relationship (18), (18'), (18a) the  $D_0^{pac}$ , we find the dimensions of the fractions  $D_{17}$  of the first layer of the filter from the basic condition (19), substituting instead of  $D_0^{max}$  from relationship (3), its value, and solving it with respect to  $D_{17}$ , we obtain:

$$D_{17} = \frac{D_0^{pac}}{\alpha C} \frac{1 - n_\phi}{n_\phi} \quad (23)$$

where  $\alpha$  is assumed from the relationship (4);  $C = 0.455 \sqrt{\eta_\phi}$ ;  $\eta_\phi$  is assumed in accordance with the relationship (9), section 9;  $n_\phi$  is the permissible porosity of the material of the filter:

$$n_\phi = n_0 - 0.1 \lg \eta_\phi \quad (24)$$

where  $n_0 = 0.40$ --for sand-gravel-pebble soils;  $n_0 = 0.45$ --for rubble soils.

b) The effective diameter of the fractions of the first layer of the filter is determined from the ratio

$$D_{10} = i D_{17} \quad (25)$$

and we find the coefficient  $i$  from the graph  $i = f(D_{10}/D_{17})$ , (Fig. 5).

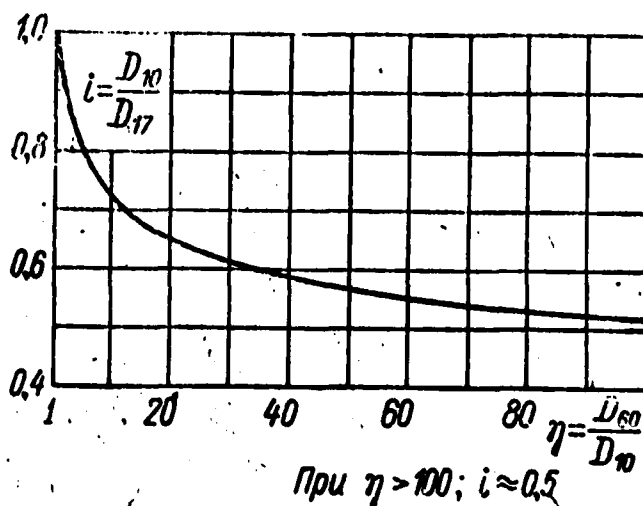


Figure 5. Graph  $i = f\left(\frac{D_{10}}{D_{17}}\right)$

c) The controlling diameter of the fractions of the first layer of the filter is determined from the condition

$$D_{90} = \gamma_{\phi} D_{10} \quad (26)$$

d) The maximal diameter of the fractions of the first layer of the filter  $D_0^{\max} = D_{100}$  should be determined from the relationship

$$D_{100} \leq D_{10} + 10x D_{60} \frac{\gamma_{\phi} - 1}{5\gamma_{\phi}^2} \quad (27)$$

where  $x = 1 + 1.28 \lg \gamma_{\phi}$ ;  $D_{10}$  and  $D_{60}$  are the sizes of the fractions, obtained from the relationships (25) and (26).

e) From the estimated values of  $D_{10}$ ,  $D_{17}$ ,  $D_{60}$  and  $D_{100}$  obtained, the estimated curve of the granulometric composition of the soil suitable for the first layer of the filter is constructed (curve  $\phi$ , Fig. 6).

f) The given composition of the soil satisfies the basic condition (19), i.e.,  $D_0^{\max} \leq D_0^{\text{fact}}$ , which corresponds to its most disadvantageous distribution for the estimated value assumed for the coefficient of variation in granular size,  $\gamma_{\phi}^{\text{fact}}$ .

g) The estimated curve  $\phi$  obtained should be the "lower limit" of the permissible granulometric composition of the soils suitable for constructing the first layer of the filter.

The deviation of the curve of the granulometric composition of the soil to the right, beyond the "lower limit" of the curve  $\phi$  is not permitted, as this composition of the soil for the first layer of the filter is not suitable.

h) All the soils, the curves of the granulometric composition of which are placed to the left of the curve  $\phi$  and have a coefficient of variation in granular size of  $\gamma_{\phi} = \gamma_{\phi}^{\text{fact}}$  or  $\gamma_{\phi} < \gamma_{\phi}^{\text{fact}}$  (curves 1 and 2, Fig. 6) are suitable for the first layer of the filter. These soils create a considerable reserve to ensure the seepage strength of the protected cohesive soil; in comparison with the soil corresponding to the estimated curve  $\phi$ .

A considerable deviation from the estimated curve to the left beyond the limits of curve 1 (finer granulometric composition of the filter), however, may require an additional layer for the transitional zone.

A deviation from the estimated curve  $\phi$  is recommended within the limits, as is indicated in Figure 6, curve 1, so that the estimated size of the fractions  $D_{60}^{\text{fact}}$  of the curve  $\phi$  corresponds to the size of the fractions  $D'_{85}$  of curve 1, and the estimated size of the fractions  $D_{10}^{\text{fact}}$  of the curve  $\phi$ , to the size of the fractions  $D'_{35}$  of curve 1, i.e.,  $D_{60}^{\text{fact}} = D'_{85}$  and  $D_{10}^{\text{fact}} = D'_{35}$ . Then the curve 1 will be the "upper limit" of the permissible granulometric composition of the soil, suitable for placing in the first layer of the filter (zone I), Fig. 6.

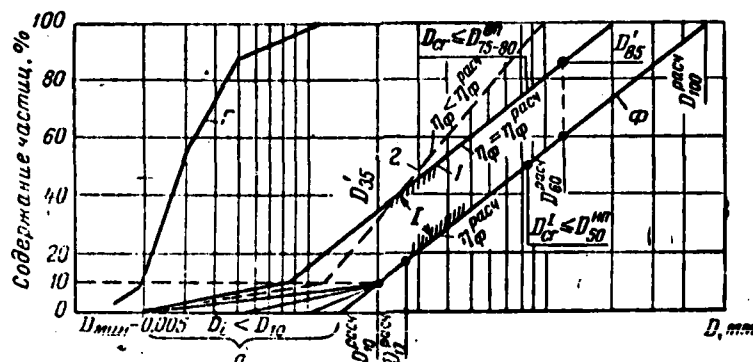


Figure 6. Estimated Granulometric Composition of the Soil of the First Layer of the Filter of Transitional Zones

$I$ --cohesive (clay) soil, protected by the filter;  $\phi$ --estimated granulometric composition of the soil suitable for placing in the first layer of the filter with  $\eta_{\phi}^{pac, 2}$  (lower limit of the "zone");  $I$ --zone of permissible granulometric composition of the soil suitable for placing in the first layer of the filter; 1--soil suitable for placing in the first layer of the filter  $\eta_{\phi} = \eta_{\phi}^{pac, 1}$  (upper limit of the "zone"); 2--soil, suitable for placing in the first layer of the filter with  $\eta_{\phi} \leq \eta_{\phi}^{pac, 1}$ ; a--area of permissible sizes of fine fractions  $D_i < D_{10}$  (10%) in the composition of the filter (from  $D_{min} = 0.005$  to  $D_{10}$  mm).

i) Fine fractions in the composition of the first layer of the filter in an amount of 10% (by weight) with a diameter  $D < D_{10}^{pac, 1}$  may be of any size, less than  $D_{10}^{pac, 1}$  for example, from 0.005 mm to  $D_{10}^{pac, 1}$ , see area a, Fig. 6.

j) The coefficient of filtration of the estimated composition of the soil of the filter of the transitional zone (curve  $\phi$ ) may be determined from the formula [1] of M. Pavchin:

$$K_{\phi} = A \frac{n_{\phi}^3}{(1 - n_{\phi})^2} D_{17}^2 \text{ (cm/sec)}, \quad (28)$$

$A = \frac{4\varphi_1 \sqrt{\eta_{\phi}}}{\eta_{\phi}} \text{ (1/cm} \cdot \text{sec)}$ ;  $\varphi_1$  is the coefficient, taking into consideration the shape and roughness of the particles of soil; according to the data of G.Kh. Pravednyy it is recommended that: for sand-gravel soils,  $\varphi_1 = 1$ ; for rubble soils,  $\varphi_1 = 0.35-0.40$ ;  $\eta$  is the kinematic coefficient of viscosity of the water, in  $\text{cm}^2/\text{sec}$ ;  $D_{17}$ , in cm; or from the formula of A.N. Patrashev

$$K_{\phi} = \frac{n_{\phi} g \varphi_1}{51 \eta} D_0^2, \quad (28')$$

where  $g = 981 \text{ cm/sec}^2$ --the acceleration of the force of gravity;  $D_0$  (cm) is the diameter of the seepage pores, and is determined from the relationship (42).

Section 16. Checking the piping strength of the granulometric composition of the soil of the first layer of the filter. a) If the granulometric composition of the soil of the first layer of the filter is piping soil, the given composition of the soil should be checked for resistance to erosion of the contact zone by a longitudinal seepage flow, since if a considerable number of fine particles are removed from it, its strength and stability may be disturbed, which is inadmissible.

b) With longitudinal seepage (i.e., with the runoff of water along the contact of the cohesive soil and the first layer of the filter, Fig. 3), the granulometric composition of the soil of the first layer of the filter should be considered as piping-resistant, if the following condition is fulfilled:

(29)

$$d_{cl} = \frac{0,0032 \sin \alpha}{\varphi_0' \sqrt{n_l/K_l}} < D_{cl}^I, \quad (30)$$

$$\varphi_0' = 0,30 (\gamma_l - 1) f_*, \quad (31)$$

$$f_* = 0,82 - 1,8n_l + 0,0062 (\gamma_l - 5),$$

$d_{cl}$  is the size of the piping particles in the composition of the soil of the first layer of the filter which may be removed by longitudinal seepage flow from the contact zone;  $\alpha$  is the angle of incline of the downstream slope of the core toward the level, Fig. 3;  $n_l$  is the porosity of the soil of the first layer of the filter (in fractions of a unit);  $\gamma_l$  is the coefficient of variation in granular size of the first layer of the filter;  $K_\phi$  is the coefficient of seepage of the first layer of the filter;  $\gamma_l$  is the volume weight,  $\gamma = \Delta(1-n)$ ,  $\Delta = 2.60-2.65 \text{ g/cm}^3$ .

If, however, condition (29) is not satisfied, then an additional check must be made, as the result of which the conclusive decision is made on the suitability or unsuitability of the planned or selected granulometric composition of the soil of the first layer of the filter or a new granulometric composition is designated for it.

c) An additional check is made if when planning or selecting the granulometric composition of the soil of the first layer of the filter, the basic condition (19) is obtained with a reserve, i.e.,  $D_0^{pac?}$  is not equal, but is greater than  $D_{cl}^{max}$  ( $D_0^{pac?} > D_{cl}^{max}$ ).

In this case the following check should be made. We will assume that all the fine particles, the size of which,  $d_{cl}$ , is determined from the relationship (29), are removed from the planned or selected granulometric composition of the soil of the first layer of the filter.

Assuming, taking into consideration the removed particles,  $d_{cl}$ , the new granulometric composition of the first layer of the filter to be 100% with  $D'_{min} = d_{cl}$ , we plot the curve of its granulometric composition (curve 2,

Fig. 7). From the curve 2 obtained we take the values  $D'_{17}$  and  $\eta'$ , and from the relationship (24) we determine the porosity  $n'_\phi$ . From the parameters obtained from the relationship (3) we determine  $D'_0{}^{\max}$ .

If it turns out that  $D'_0{}^{\max} \leq D_0^{\rho_{acr}}$ , the initial granulometric composition of the soil of the first layer of the filter (Fig. 7, curve 1), obtained from condition (19), should be considered as suitable.

If, however, it turns out that condition (19) is not satisfied, a new granulometric composition of the soil of the first layer of the filter should be designated (see below, section d.).

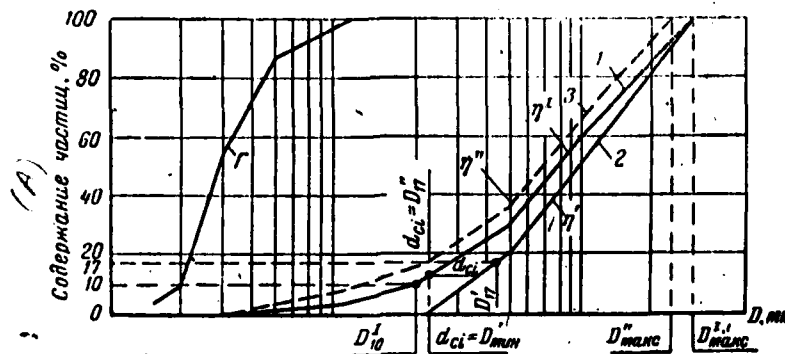


Figure 7. Selection of the Granulometric Composition of the Soil of the First Layer of the Filter of Transitional Zones

1--cohesive (clay) soil, protected by the filter; 1--estimated granulometric composition of the soil of the first layer of the filter; 2--granulometric composition of the soil of the first layer of the filter, from which all the particles with a size of less than  $d_{ci}$  are removed; 3--new composition obtained for the first layer of the filter from the condition  $d_{ci} = D'_{17}$  (with the drop of the coarse fractions  $> D''_{\max}$ ). A--particle content, in %.

d) The new granulometric composition of the soil of the first layer of the filter is designated from the condition that  $d_{ci} = D'_{17}$  (Fig. 7, curve 3). Knowing  $D'_{17}$  from the relationships (25), (26) and (27), the fractions  $D'_{10}$ ,  $D'_{17}$ ,  $D'_{60}$  and  $D'_{100}$  are determined. From the sizes of the fractions  $D'_{10}$ ,  $D'_{17}$ ,  $D'_{60}$  and  $D'_{100}$  obtained, a new curve is plotted for the granulometric composition of the soil, which should be taken as the estimated granulometric composition of the first layer of the filter. This composition of the filter will satisfy the basic conditions (19), (20) and (29).

Section 17. The condition of self-healing of cracks in the core (facing) of high dams. a) In high and superhigh dams with thin cores (facings, located

in a narrow canyon with steep slopes, as the result of great and uneven deformations and variation in settling, as well as seismic phenomena, in some cases individual local cracks may form, which are undesirable, especially at the downstream edge of the core at the contact with the reverse filter of the transitional zone, as shown in Fig. 8.

b) In such cases, to prevent the contact zone of the cohesive soil of the core (facing) of the dam from being eroded by the seepage flow emerging along the crack in the filter layer, the filter of the transitional zone should be planned and arranged with a granulometric composition that will keep the clumps of cohesive soil or individual particles of it removed by the seepage flow from passing through the filter layer, and would silt it in the area of the crack (Fig. 8), and would therefore create the conditions for the healing of the crack itself.

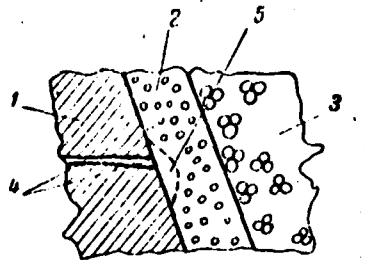


Figure 8. Diagram of the Healing of Cracks in the Core of a Dam

1--core of the dam; 2--transitional zone (filter); 3--triangle of the dam; 4--crack in the core of the dam; 5--silting area in the filter (transitional zone).

c) Consequently, the planned or selected granulometric composition of the first layer of the filter, satisfying in these cases the requirements made of the filters of transitional zones of high and superhigh dams, should be checked for the silting tendency condition.

d) If the given planned or selected granulometric composition of the filter may be silted by the fine particles removed from the crack of the core (facing) of the dam, this composition of the filter should be regarded as satisfying the given condition.

e) If the given condition is not satisfied, the planned or selected composition of the filter should be changed, so that the new composition obtained will satisfy the silting tendency condition.

f) The condition of the silting tendency (healing of the cracks) will be fulfilled if the planned composition of the first layer of the filter satisfies the following criterion of silting tendency:

$$\frac{D_{17}}{d_{90}} < \frac{26.5(1-n_\phi)}{n_\phi \sqrt{\eta_\phi}}, \quad (32)$$

where  $D_{17}$  is the diameter of the particles of the soil of the reverse filter, with less than 17% by weight contained in it;  $n_\phi$  is the porosity of the soil of the reverse filter, in fractions of a unit;  $\eta_\phi$  is the coefficient of variation in granular size of the soil of the reverse filter;  $d_{90}$  is the diameter of the particles of the soil of the core of the dam silting the first layer of the filter, with less than 90% by weight contained in it;  $d_{90} \approx d_{20}^{arp}$  or  $d_{90} \approx (0.2-0.1)d_{90}^{arp}$ , where  $d_{20}^{arp}$  and  $d_{90}^{arp}$  are the size of the aggregate compositions of the clay soil with its erosion (with the coefficient 0.2 corresponding to the soil with a plasticity number of  $W_\pi=5-10$ , and  $0.1-W_\pi > 10$ ).

If in the inequality (32), instead of  $d_{90}$ , its mean value is substituted, expressed by the aggregate quality, i.e.,  $d_{90} \approx 0.15d_{90}^{arp}$ , the condition of the silting tendency of the first layer of the filter by the aggregates of cohesive soil will have the following form.

$$\frac{D_{17}}{d_{90}^{arp}} < \frac{4(1-n_\phi)}{n_\phi \sqrt{\eta_\phi}}, \quad (32')$$

where the letter symbols are the same as in (32).

g) If condition (32) is not satisfied, there should be a change in the planned (selected) granulometric composition of the filter, taking for the estimated size the diameter of the fraction  $D_{17}$  from the relationship (32), i.e.

$$D_{17} < \frac{26.5(1-n_\phi)}{n_\phi \sqrt{\eta_\phi}} d_{90}. \quad (33)$$

The remaining sizes of the basic estimated fractions of the curve of the granulometric composition of the filter  $D_{10}$ ,  $D_{60}$  and  $D_{100}$  are determined from the relationships (25), (26) and (27).

The new granulometric composition of the first layer of the filter obtained in this way will satisfy the condition of the silting tendency, and consequently, of the healing ability of the cracks.

The estimated curve of granulometric composition obtained should be taken as the lower limit (Fig. 6, curve  $\phi$ ) of the "zone of permissible granulometric composition of the soil, suitable for placing in the first layer of the filter."

Note. The data from section 17 are included in these directives as the solution to the problem posed of the possibility of cracks forming in the core of the dam (which is improbable, especially through cracks), and, if they do form, the measures to be stipulated for their self-healing.

Planning or selecting the composition of the first layer of the filter from the condition of its tendency to silt due to cohesive soil in the core, with its erosion, gives a considerable reserve of strength and reliability for the core (facing) of the dam protected by it.

## 2. Planning the Granulometric Composition of the First Layer of the Filter for the Upstream Slope of the Core of a Dam

Section 18. General instructions. It is recommended that the granulometric composition of the first layer of the filter of the transitional zone for the core of a dam on the upstream side, as indicated in section 12, be planned for two sections along the height of the core, i.e., for two different work regimes for the filters [18].

First section--from the NPU level to the UMO level (Fig. 4).

1. In this section of the core of the dam, the seepage characteristics may correspond to the seepage characteristics of the downstream slope of the core when the reduction in the water level in the headwater takes place more rapidly than the water yield of the soil of the core of the dam.

In this case the granulometric composition of the first layer of the filter for the upstream side of the core should satisfy all the conditions which are imposed for the first layer of the filter for the downstream slope of the dam.

Taking into consideration this condition, the granulometric composition of the transitional zone at the given upstream section of the core (from  $\nabla$ NPU to  $\nabla$ UMO) should be planned or selected (or taken by analogy) as for the downstream slope of the core of the dam, according to the method given in sections 13-16.

2. With a constant water level in the reservoir (in the headwater), or with the appropriate substantiation, that with a reduction in the water level in the reservoir the seepage waters will not ooze onto the upstream slope of the core, the granulometric composition of the first layer of the filter may in this case be planned or selected as for the second section of the core of the dam from the UMO level to its foundation, by the method given below in section 19.

3. When there is coarse rubble material in the upstream triangle of the dam, however, the possibility should be considered of the penetration and effect of the pulsation of the water (from the rise and fall of the waves) on the transitional zone.

In such cases appropriate protective measures should be stipulated at the section of the upstream slope of the core at the height of the rise and fall of the waves (filter of nonpiping composition, two-layer filter, etc.).



Second section--from the UMO level to the level of the foundation of the core (Fig. 4).

In the operational period a so-called "dead zone" is formed at this section, where there is no fluctuation in the water level, and the transitional zone operates on the principle of a "direct" filter, i.e., the direction of the seepage is not from the fine soil to the coarse ("reverse" filter), but vice-versa--from the coarse soil to the fine.

In this case, as indicated in section 12, the seepage flow, acting on the soil of the core, has a positive effect on the strength of the material of the core. The operating conditions of the transitional zone at this section are the most favorable, as compared with the downstream slope. Therefore the requirements for designating the transitional zone and for its granulometric composition should be different, and minimized (the oozing of the seepage flow to the slope, breaking away or separation of the material of the core in the pores of the filter and contact erosion are eliminated).

Section 19. Planning (selecting) the granulometric composition of the first layer of the filter of the transitional zone for the upstream slope of the core at the section from the UMO level to its foundation [18]. a) The protected soil of the core of the dam should be cohesive and satisfy the requirements given in section 7, paragraph 3, i.e.,  $W_L \geq 7$ , with the fluctuation in the moisture content  $W$  in the plasticity range:

$$W_L \geq W \geq W_P$$

where  $W_L$  is the flowability limit;  $W_P$  is the limit of rolling out of the soil.

b) The minimal volume weight of the frame of the cohesive soil  $\gamma_{ck}$  of the core of the dam, at its placement, should be:

$$\gamma \geq \gamma_{ck}'$$

where  $\gamma_{ck}'$  is taken from the relationship (1).

c) The estimated pressure gradient for the upstream section of the core of the dam (if the seepage flow does not ooze onto the slope) should be taken as:

$$I_p = 0$$

d) The estimated diameter of the seepage pores of the material of the first layer of the filter for the given upstream section of the core of the dam may be determined from the relationship (18), with  $I_p = 0$   $\cos \theta = 1$ , we obtain:

$$D_o^{pact} = \sqrt{\frac{0.34}{\gamma I_p + \cos \theta}} - \sqrt{\frac{0.34}{0+1}} = 0.583 \text{ cm} = 5.83 \text{ mm.}$$

e) For high dams with a pressure head of  $H > 100$  m, with the installation of a single-layer transitional zone and with its juncture with the rock fill of the upstream triangle of the dam, it is recommended that the safety factor of  $k_s = 1.25$  be introduced. Then the estimated size of the seepage pores of the material of the upstream transitional zone of the core, at the section from the UMO level to its foundation should be assumed:

$$D_o^{pact} = 4.65 \text{ mm}$$

f) To ensure the seepage strength and stability of the upstream slope of the core of the dam at the section from the UMO level to its foundation, the maximal diameter of the seepage pores ( $D_0^{\max}$ ) of the first layer of the filter of the transitional zone should be:

$$D_0^{\max} \leq D_0^{\text{pac}} = 4.65 \text{ mm}$$

where  $D_0^{\max}$  is determined from the relationship (3).

g) Determination of the estimated sizes of the fractions ( $D_{10}$ ,  $D_{17}$ ,  $D_{60}$ ,  $D_{100}$ ) of the given composition of the soil and plotting the "zone of permissible granulometric composition of the soil suitable for placement in the first layer of the filter" are carried out in accordance with the method given in section 15.

h) According to the hydrodynamic conditions at the given section of the upstream slope of the core of the dam (from the UMO level to its foundation), a sand-gravel soil, of both nonpiping and piping composition (any degree of piping) may be laid, if its composition satisfies the basic condition (19).

Section 20. Planning (selecting) the granulometric composition of the soil of the first layer of the filter of the transitional zones of the facing of the dam. It is recommended that, for the facing of the dam, constructed from cohesive (clay) soil, the physical characteristics of which satisfy the requirements set forth in section 7, paragraph 3 of these directives, the planning (selection) of the granulometric composition of the soil of the first layer of the filter of the transitional zones, depending on the hydrodynamic conditions of their operation, be carried out separately, for both the downstream side of the facing and the upstream side of the facing.

1. Planning (Selecting) the Granulometric Composition of the Soil of the First Layer of the Filter of the Transitional Zone for the Downstream Side of the Facing.

a) Determining the estimated size of the diameter of the seepage pores of the first layer of the filter. When the breaking away or separation of clumps of particles of cohesive soil at the contact with the soil of the first layer of the filter is inadmissible, the estimated size of the diameter of the seepage pores of the material of the first layer of the filter should be determined according to the relationship (18')\*

$$D_0^{\text{pac}} = \sqrt{\frac{0.34}{\varphi L_p + 1}}$$

where  $\varphi$  is taken from the table,  $\varphi = f(L_p)$ ;  $L_p$  is determined from the formula (14) or (14'), depending on the material of the triangle of the dam (sect. 11, paragraph 4) Fig. 9.

b) In order to avoid the separation of the cohesive (clay) soil of the facing at the contact with the material of the first layer of the filter (or deformation), the basic condition should be satisfied (19):

$$D_0^{\text{max}} < D_0^{\text{pac}}$$

\* See section 13, b.

$$D_0^{\max} \leq D_0^{\text{pacz}}$$

where  $D_0^{\max}$  is the maximal size of the seepage pores of the first layer of the filter, and is determined from the relationship (3).

c) The estimated dimensions of the fractions is determined and the "zone of granulometric soil suitable for placing in the first layer of the filter" is plotted according to the method given in section 15.

d) The planned or selected granulometric composition of the first layer of the filter should be checked for the "condition of self-healing of cracks" in the facing in accordance with the criterion (32), section 17.

e) If condition (32) is not satisfied, the planned (selected) composition of the soil of the first layer of the filter should be changed, in accordance with the recommendations given in section 17, paragraph g).

## 2. Planning (Selecting) the Granulometric Composition of the Soil of the First Layer of the Filter of the Transitional Zone for the Upstream Side of the Facing of the Dam

The granulometric composition of the first layer of the filter of the transitional zone for the protection of the upstream side of the facing (depending on the hydrodynamic conditions of the operation of the transitional zone) should be planned (selected) as for the core of the dam (section 18), for two sections along the height--for two different operational conditions of the filters.

First section--protecting the facing at the section where the water level of the reservoir fluctuates from the NPU level to the UMO level (Fig. 9), when the seepage waters ooze onto the upstream slope of the facing, with a reduction of the water level in the headwater, taking into consideration the effect of the wave action on the transitional zone:

1) With a coarse-grained (sand-pebble or rubble) overburden on the upstream side of the facing;

2) With a coarse rubble overburden.

a) Determination of the estimated size of the diameter of the seepage pores of the soil ( $D_0^{\text{pacz}}$ ) of the first layer of the filter.

When it is inadmissible for clumps of particles of cohesive soil to break away or separate at the contact with the first layer of the filter, the relationship (18')\*should be used to determine  $D_0^{\text{pacz}}$

$$D_0^{\text{pacz}} = \sqrt{\frac{0.34}{\varphi \gamma_p + 1}}$$

where  $\varphi$  is taken from the table (p 24);  $\gamma_p$  is determined from formula (15), i.e.

\* See section 13, b.

$$I_p = \operatorname{tg} \beta_0$$

where  $\beta_0$  is the angle of incline of the upstream slope of the facing toward the level (Fig. 9).

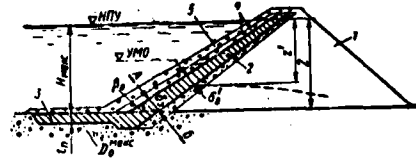


Figure 9. Dam with Facing and Blanket

1--embankment of the dam; 2--facing; 3--blanket; 4--transitional zones (filters); 5--protective layer; z--pressure head at the A-B section; z'--pressure head at the section of the facing where the curve of depression adjoins the embankment of the dam made of sand-gravel-pebble soil;  $D_0^{\max}$  --maximal size of the seepage pores of the soil of the foundation of the dam.

b) The composition of the first layer of the filter obtained, with  $D_0^{\text{fact}}$  should be checked for suitability with respect to ensuring the strength of the cohesive soil of the upstream slope of the facing, with contact seepage, according to the condition (20), i.e.

$$I_k \leq 0.75 I_{kp}$$

Moreover, for fine-grained overload on the upstream side of the facing,  $I_k$ , under the condition (20), we assume:

$$I_k = \sin \beta_0 *$$

where  $\beta_0$  is the same as in formula (15).

For a coarse rubble overburden of the facing (if the wave action affects the transitional zone), the condition (20) will have the following form:

$$I_n \leq 0.75 I_{np}, \quad (34)$$

where  $I_n$  is assumed according to the relationship (16);  $I_{np}$  --according to the relationship (21), having assumed  $D_0^{\max} = D_0^{\text{fact}}$ .

c) If the condition (20) or (34) is not satisfied, formula (22) should be used to find the new value of  $D_0^{\text{fact}}$ .

Then formula (22) may have two values:

1) For a fine overburden of the facing

\* See formula (17)

$$D_0^{\max} = \frac{0.56}{(I_k + 0.56)^2} \text{ (cm)}, \quad (22a)$$

where  $I_k$  is assumed from the relationship (17);

2) For a coarse rubble overburden, i.e., taking into consideration the effect of the wave action on the transitional zone:

$$D_0^{\max} = \frac{0.56}{(I_n + 0.56)^2} \text{ (cm)}, \quad (22b)$$

where  $I_n = k_n I_k$ , see the relationship (16).

The value of  $D_0^{\max}$  obtained from the condition (22a) or (22b) is taken as the estimated, i.e.,  $D_0^{\text{act}} = D_0^{\max}$ , if condition (20) or (34) is not satisfied.

d) The estimated sizes of the fractions ( $D_{10}$ ,  $D_{17}$ ,  $D_{60}$ ,  $D_{100}$ ) of the given composition of the soil are determined and the "zone of granulometric composition of the soil suitable for placement in the first layer of the filter" is plotted according to the method shown in section 15.

Second section--protection of the facing at the section from the UMO level to its foundation and when the water level in the reservoir is constant, and also when the seepage waters do not ooze onto the upstream slope of the facing, with a reduction of the water level in the reservoir (with the proper justification).

a) In this case, the method of planning (selecting) the granulometric composition of the soil of the first layer of the filter for the upstream slope of the facing corresponds totally to the method of planning (selecting) the granulometric composition of the first layer of the filter for the upstream side of the core of the dam at the section from the UMO level to the base of the core.

b) In planning (selecting) the granulometric composition of the soil of the first layer of the filter for the upstream side of the facing, the method set forth in sections 18 and 19 should be used:

Section 21. Planning (selecting) the granulometric composition of the filter preparation under the shoring of the upstream slopes of earth dams made of cohesive (clay) soil. When planning (selecting) the granulometric composition of the filter preparation under rock and under reinforced concrete shoring of the upstream slopes (Fig. 10) of earth dams, constructed from cohesive (clay) soils with a plasticity number  $W_n \geq 7$  (for structures of the second class of durability and below,  $W_n \geq 5$ ), with molecular cohesion, determined from the relationship (1), section 7, the following conditions should serve as the basis:

1) The granulometric composition of the filter preparation, for the upstream shorings of the slopes (for protection against wave action) should be practically non-piping, satisfying the relationship (7) or (8);

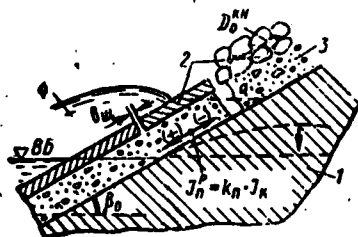


Figure 10. Planning (Selecting) the Filter Preparation for the Shoring of Upstream Slopes

1--embankment of the dam made of cohesive soil (with  $W_n \geq 5-7$ );  
 2--upstream covering of the slope (rock or by reinforced concrete slabs); 3--layer of the filter preparation; 4--runup of the waves;  
 $\beta_0$ --angle of incline of the upstream slope of the dam toward the level.

2) The filter preparation should give reliable protection for the cohesive (clay) soil of the upstream slope of the dam, from: wave actions, erosion by the seepage flow of the water flowing out of the embankment of the dam, erosion by the current, etc.

Note. The type of covering of the upstream slopes for protection against wave action should be planned or chosen in accordance with the existing SNiP [5].

a) When there are dynamic loads on the slope of the dam, pulsating seepage in the layer of the filter preparation (with the rise and fall of the waves on the slope of the dam), a variable water level in the headwater and its possible oozing onto the upstream slope of the dam, the estimated size of the diameter of the seepage pores of the material of the seepage preparation ( $D_0^{pac}$ ), is recommended as being determined from the relationship (18'):

$$D_0^{pac} = \sqrt{\frac{0.34}{\varphi I_p + 1}},$$

and in this case to be assumed is  $\varphi=1$ ,  $I_p = \text{tg} \beta_0$ , where  $\beta_0$  is the angle of incline of the upstream slope toward the level (Fig. 10).

b) To avoid separation of the cohesive (clay) soil in the zone of contact with the material of the filter preparation, the granulometric composition of the material of the filter preparation should satisfy the basic condition (19), i.e.

$$D_0^{max} \leq D_0^{pac}$$

where  $D_0^{max}$  is the maximal size of the diameter of the seepage pores of the filter preparation, and is determined from the relationship (3).

c) The filter preparation will afford reliable protection against contact erosion of the slopes of the dam with a pulsating regime of longitudinal seepage (from the rise and fall of the waves) if it satisfies the condition (34):

$$I_n \geq 0,75 I_{kp} \quad (34)$$

where  $I_n$  is assumed in accordance with the relationship (16);  $I_{kp}$  --according to the relationship (21).

d) If condition (34) is not satisfied, the granulometric composition of the filter preparation should be changed, see section 20, 2, c.

e) The material of the filter preparation should not penetrate the pores of the rock fill ( $D_o^{KH}$ ) or an opened crack ( $b_{\mu}$ ) in the reinforced concrete covering (Fig. 10).

This condition may be expressed by the following relationships:

1) For the rock covering:

$$D_{50} \geq 0,55 D_o^{KH} \quad (35)$$

where  $D_{50}$  is the estimated size of the fraction of the filter preparation (taken in accordance with the curve of the granulometric composition of the material of the filter preparation);  $D_o^{KH}$  is determined from the relationship (42):

$$D_{50} \geq 0,55 b_{\mu} \quad (36)$$

If the estimated size of the fraction of the material of the filter preparation  $D_{50}$  does not satisfy the relationship (35) or (36), the value of the coefficient of variation in granular size,  $\eta_g$ , of the filter preparation must be changed toward an increase (within the limits up to  $\eta_g \leq 25$  for rubble soils and up to  $\eta_g \leq 20$  for sand-gravel soils), i.e., a more varied granular composition is designated for the material of the soil of the filter preparation.

If even in this case the relationship (35) or (36) is not satisfied, this indicates that an intermediate layer made of finer rock should be placed between the rock covering and the layer of the filter preparation. The granulometric composition of the intermediate layer should be such as to satisfy the condition (35) or (36).

By observing the above requirements for planning the composition of the filter preparation, a reliable protection is ensured for the slope of the dam and the filter preparation itself against the wave action on the slopes.

#### Example of Planning a Filter Preparation

The granulometric composition of the soil of the filter preparation for the upstream covering of the slope (rock or with reinforced concrete slabs) must be planned for loamy soil of the embankment of an earth dam (Fig. 10).

### Estimating Procedure

To plan the granulometric composition of the filter preparation, the physical characteristics of the (protected) cohesive soil of the dam embankment must be known.

a) Material of the dam embankment--loam, with the basic parameters (see section 25):

Clay particles in its composition  $d < 0.005 \text{ mm}$ --15%;

Plasticity number  $W_p = 13.98 > 7$ ;

Coefficient of water saturation  $G = 0.85$ ;

Specific gravity of the particles  $\Delta = 2.70 \text{ g/cm}^3$ ;  $\gamma_{sk} = 1.65\text{--}1.68 \text{ g/cm}^3$ .

b) The volume weight of the dry soil ("frame") of the loam, when it is placed in the embankment of the dam at the contact with the filter preparation, according to the relationship (1), should be:

$$\gamma_{sk} > \gamma'_{sk} = \frac{\Delta}{1 + e_T}$$

with  $\Delta = 2.70 \text{ g/cm}^3$ ,  $e_T$ --the coefficient of porosity (at the flowability limit) is equal to:

$$e_T = \frac{\Delta W_T}{100 \cdot \gamma_n} = \frac{2.70 \cdot 36.46}{100 \cdot 1} = 0.96.$$

After substituting the values we obtain

$$\gamma'_{sk} = \frac{2.70}{1 + 0.96} = 1.38 \text{ g/cm}^3.$$

According to the plan the volume weight of the soil placed in the dam embankment will have  $\gamma_{sk} = 1.65\text{--}1.68 \text{ g/cm}^3$ . Consequently, the soil of the embankment of the dam will be cohesive, with molecular cohesion, and all the estimates for planning the composition of the filter preparation should be made as for cohesive soil.

c) When there are dynamic loads on the upstream slope of the dam and there must be no separation of the cohesive soil of the embankment of the dam (in the pores) at the contact with the filter preparation, the estimated size of the diameter of the seepage pores and the material of the filter preparation should be determined from the formula (18'); the estimated pressure gradient according to the relationship (15), where  $\beta_0$  is the angle of incline of the upstream slope of the dam toward the level (Fig. 10).

In this case  $\beta_0 = 15^\circ$ ;  $I = \text{tg } \beta_0 = \text{tg } 15^\circ = 0.27$ .

The coefficient of the pressure gradient is  $\varphi = 1$ .



After substituting the values in (18'), we obtain:

$$D_0^{\text{pacv}} = \sqrt{\frac{0.34}{\varphi I_p + 1}} = \sqrt{\frac{0.34}{1.027 + 1}} = 0.52 \text{ cm} = 5.2 \text{ mm}.$$

Consequently, in order to avoid the separation of the cohesive soil of the embankment of the dam at the contact with the material of the filter preparation, the basic condition (19) should be satisfied, i.e.

$$D_0^{\text{max}} \leq 5.2 \text{ mm}$$

where  $D_0^{\text{max}}$  is the maximal size of the diameter of the seepage pores of the material of the filter preparation.

d) The filter preparation with  $D_0^{\text{max}} = 5.2 \text{ mm}$  should give reliable protection against contact erosion of the slope of the dam, with pulsating seepage (from the rise and fall of the waves).

This condition will be fulfilled if the inequality (34) is satisfied, i.e.

(34)

In this case (Fig. 10), when  $\beta_0 = 15^\circ$  according to the relationship (16) we determine

$$I_n = k_n I_k = 1.35 \sin 15^\circ = 1.35 \cdot 0.26 = 0.35.$$

The value of  $I_{kp}$  is determined from the relationship (21):

$$I_{kp} = \frac{1}{\sqrt{D_0^{\text{max}}}} - 0.75 = \frac{1}{\sqrt{0.52}} - 0.75 = 0.64.$$

After substituting the values in (34), we obtain:  $0.35 < 0.75 \cdot 0.64$ , i.e.,  $0.35 < 0.48$ .

Condition (34) is satisfied. Consequently, the given composition of the soil with  $D_0^{\text{max}} = 5.2 \text{ mm}$  may be taken as the filter preparation for the rock or reinforced concrete shorings of the upstream slopes of the dam, with their protection against wave action.

e) To construct the curve of the planned nonpiping granulometric composition of the soil of the filter preparation, with the estimated size of the seepage pores  $D_0^{\text{pacv}} = D_0^{\text{max}} = 5.20 \text{ mm} = 0.52 \text{ cm}$ , the method shown in section 15 should be used (formulas 23, 24, 25, 26 and 27) and the example of section 25, paragraphs f, g, h, i, j, k.

As the filter preparation for this example we assume sand-gravel soil with the coefficient of variation in granular size  $\eta = 20$ . The porosity --  $n_\phi$  of this soil is determined from the relationship (24):

$$n_\phi = n_0 - 0.1 \lg \eta_\phi = 0.40 - 0.1 \lg 20 = 0.27.$$

1) The diameter of the fractions  $D_{17}$  is determined from the relationship (23);

$$D_{17} = \frac{D_{17}^{poc}}{nC} \frac{1-n_{\phi}}{n_{\phi}} = \frac{5,2}{2 \cdot 0,75} \frac{1-0,27}{0,27} = 9,4 \approx 9,0 \text{ mm},$$

$$x = 1 + 0,05 \eta_{\phi} = 1 + 0,05 \cdot 20 = 2;$$

$$C = 0,455 \sqrt[4]{\eta_{\phi}} = 0,455 \sqrt[4]{20} = 0,75.$$

2) The effective diameter of the fractions of the filter preparation  $D_{10}$  is determined from the relationship (25):

$$D_{10} = i D_{17} = 0,64 \cdot 9,0 = 5,8 \text{ mm};$$

where  $\eta_{\phi} = 20$  from the graph, Fig. 5,  $i = 0.64$ .

3) The controlling diameter of the fractions  $D_{60}$  is determined from the relationship (26):

$$D_{60} = \tau_{\phi} D_{10} = 20 \cdot 5,8 = 116 \text{ mm}.$$

4) The maximal diameter of the fractions  $D_{100}$  is determined from the formula (27)

$$D_{100} = D_{10} + 10^x D_{60} \frac{\eta_{\phi} - 1}{5 \tau_{\phi}^2} = 5,8 + 10^{2,67} \cdot 116 \cdot \frac{20-1}{5 \cdot 20^2} \approx 210 \text{ mm}.$$

$$x = 1 + 1,28 \lg \tau_{\phi} = 1 + 1,28 \lg 20 = 2,67.$$

From the values obtained for the sizes of the fractions  $D_{10}$ ,  $D_{17}$ ,  $D_{60}$  and  $D_{100}$ , the estimated curve of the granulometric composition of the filter preparation is constructed, which should be taken as the lower limit of the "recommended zone" as shown in Fig. 6, curve .

The "zone of permissible granulometric composition of the soil suitable for placing on the slope of the dam as filter preparation" is constructed as shown in section 15, paragraphs e-j.

f) The size of the pores (upstream covering) of the rock fill  $D_0^{KH}$  or the possible permissible covering of the crack  $b_{uy}$ , with a reinforced concrete covering of the upstream slopes of the dams is determined from the relationship (35) or (36).

For the given estimate example, when  $D_{50} \approx 6$  cm, the diameter of the pores of the upstream covering made of rock (or the possible permissible covering of the crack of reinforced concrete slabs  $b_{uy}$ ):

$$D_0^{KH} \approx 1,8 D_{50} = 1,8 \cdot 6 = 10,8 \text{ cm}.$$

Here the minimal thickness of the layer of the filter preparation-- $T_{min}$  (according to the seepage conditions) should be:

$$T_{min} > (5-7) D_{max} \quad (10)$$

i.e.,  $T_{min} > 75-100 \text{ cm}.$

From the estimates made it follows that with protection (against wave action) of the slopes of earth dams constructed from cohesive (clay) soils, the principal role in protecting the slopes against separating and erosion is played by the filter preparation, the granulometric composition of which should be planned according to the above method.

Note. If run-of-bank soils are available, which may be used as the filter preparation, the selection of the composition of the filter preparation should be made as indicated in section 26, taking into consideration the estimated parameters given in the data in section 21.

Section 22. Determining the coefficient of seepage of loamy soil. When (with prospecting of quarries, seepage estimates, etc.) the coefficient of seepage of loamy soil is unknown, it may be determined from the experimental relationship given below [1, 11]:

$$k = \frac{\sqrt[3]{\eta}}{25\nu} \frac{n_\phi^2}{(1 - n_\phi)^2} d_{17}^2 \text{ (cm/sec)}, \quad (37)$$

where  $\eta = \frac{d_{60}}{d_{10}}$  is the coefficient of variation in granular size of the loamy soil;  $\nu$  is the kinematic coefficient of the viscosity of the water ( $\text{cm}^2/\text{sec}$ );  $d_{17}$  (mm) is the size of the particles of cohesive soil, contained in an amount of 17% and less by weight;  $n_\phi$  is the actual porosity of the cohesive soil and is determined according to the relationship

$$n_\phi = n - W_M \gamma_{ck}, \quad (38)$$

where  $n$  is the porosity, corresponding to  $\gamma_{ck}$  the volume weight (frame) of the dry soil;  $n = 1 - \frac{\gamma_{ck}}{A}$ ;  $W_M$  is the maximal molecular moisture capacity of the cohesive soil and is determined by the micro-aggregate method:

$$W_M = 0.016A + 0.04B + 0.1C + 0.35G, \quad (39)$$

where A, B, C and G are assumed in percents depending on the particles d; A-d=0.5-0.25 mm; B-d=0.25-0.05 mm; C-d=0.05-0.005 mm; G--d<0.005 mm (percents A, B, C and D are taken from the curve of the granulometric composition of the cohesive soil).

Example. To be determined is the  $k$  of the loamy soil, the granulometric composition of which is given in Fig. 16, and for the basic characteristics, see section 25.

$$\gamma_{ck} = 1.75 \text{ m/m}^3; n = 0.35; \eta = 126 \quad d_{17} = 0.0065 \text{ mm}; \nu = 0.013 \text{ cm}^2/\text{sec} \text{ (when } t = 10^\circ\text{C)}.$$

From the chart in Fig. 16, we obtain:

$$\begin{aligned} d=0.5-0.25 \text{ mm} \dots A=8\%, \quad d=0.05-0.005 \text{ mm} \quad C=20\%. \\ d=0.25-0.05 \text{ mm} \dots B=20\%, \quad d<0.005 \text{ mm} \dots G=15\%, \end{aligned}$$

After substituting the values in the relationship (39), (38) and (37)

$$W_m = 0,016 \cdot 8 + 0,04 \cdot 20 + 0,1 \cdot 20 + 0,35 \cdot 15 = 8,2\% = 0,082;$$

$$n_{\phi} = 0,35 - 0,082 \cdot 1,75 = 0,207;$$

$$k_r = \frac{\sqrt[3]{126}}{25 \cdot 0,013} \frac{0,207^3}{(1 - 0,207)^2} 0,0065^2 = 4,12 \cdot 10^{-4} \text{ cm/sec.}$$

### Section 23. The juncture of the transitional zone with the material of the Triangle of the Dam

1. The planned or selected first layer of the filter of the transitional zone adjacent to the cohesive soil of the core (facing) of the dam should at the same time be securely joined to the material of the next, second layer of the transitional zone or to the material of the side triangles of the dam.

This juncture of the first layer of the filter of the transitional zone may be carried out:

a) Directly, with material of the triangles of the dam, which may be constructed from gravel-pebble soil or from rock fill (Figs. 11 and 12);

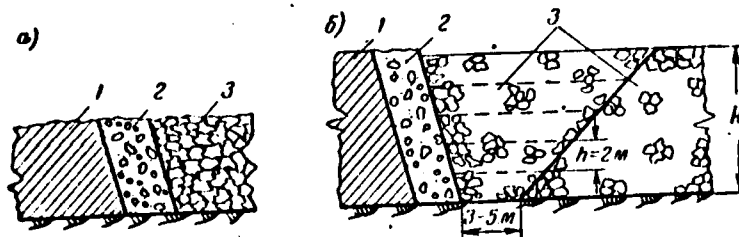


Figure 11. Juncture of a Single-Layer Transitional Zone With the Material of the Triangle of the Dam

a--simultaneous construction of the elements of the dam, 1, 2 and 3;  
b--separate construction of the elements of the dam, 1, 2 and 3;  
1--core of the dam; 2--transitional zone; 3--side triangle of the dam; H--height of the layer of depositing the triangle of the dam;  
h=2 m--height of the layer with "slot fill"

b) With the soil of an additional second layer of the transitional zone, which, in turn, should join with the rock fill of the triangles of the dam (Fig. 13);

c) With material of the triangles of the dam with a finer granulometric composition, which may be obtained from the same quarry, from which the material is extracted for the triangles of the dam, but with the selection of finer fractions (in this case the contact zone should be 3-5 m in width, Fig. 14);

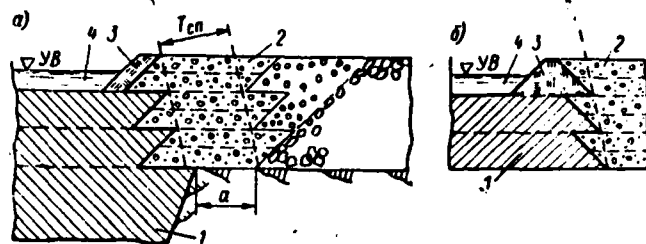


Figure 12. Diagram of the Junction of a Single-Layer Transitional Zone With the Triangle and Core of a Dam, Constructed by the "Method of Depositing the Soil in Water"

a--core constructed slightly after the transitional zone; b--core constructed ahead of the transitional zone; 1--core of the dam; 2--transitional zone; 3--layer or levee made of compacted core material; 4--pond; a=3-5 m--zone of the covering by the first layer of the filter of the contact of the core with the foundation of the dam.

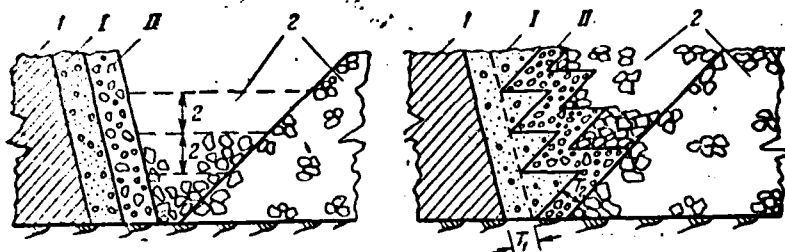


Figure 13. Junction of a Two-Layer Transitional Zone With the Material of the Triangle of the Dam

1--core of the dam; I--first layer of the transitional zone; II--second layer of the transitional zone; 2--material of the triangle of the dam.

d) With natural run-of-bank soil (without sifting it), which may be used for the "slot fill" of rockfill dams, if its use is technically and economically expedient (Fig. 15, a).

Note. When the filling of the triangles of the dam made of material with varied granular composition is done with a layer of great height  $H$ , it should be stipulated that in the lower part of the slope of the deposit (if the material separates into layers) an additional covering layer be placed, with

a height of  $1/3 H$  (Fig. 15, b), the granulometric composition of which should correspond to the estimated curve of the material of the triangle of the dam.

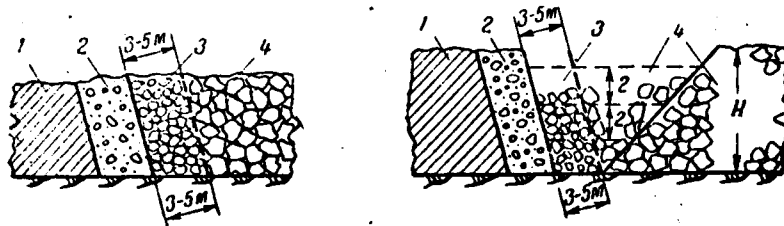


Figure 14. Juncture of the Transitional Zone With the Finer Material of the Triangle of the Dam

1--core of the dam; 2--transitional zone; 3--contact zone (3-5 m) made of finer material than the triangle of the dam; 4--triangle of the dam made of ordinary material

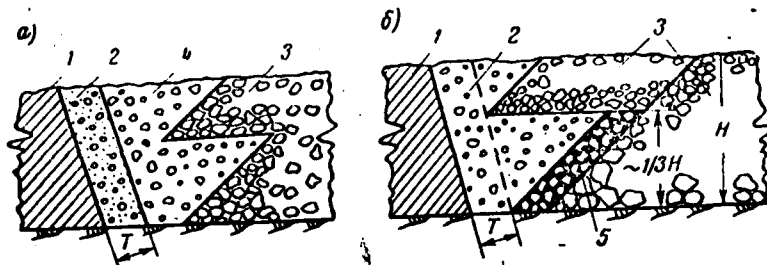


Figure 15. Juncture of the Transitional Zone and the Run-of-Bank Gravel-Pebble Material ("Slot Fill") and With the Installation of an Additional Layer, Covering the Slope at the Base of the Triangle of the Dam

1--core of the dam; 2--transitional zone; 3--triangle of the dam; 4--natural run-of-bank gravel-pebble soil, used for "slot fill"; 5--additional covering layer, installed at  $1/3 H$  of the layer of fill of the triangle of the dam (if the material of the triangle of the dam separates).

2. The juncture of the first layer of the filter with the material of the triangle of the dam or with the second layer of the transitional zone will be ensured if the condition of the non-spilling tendency of the soil of the first layer of the filter with respect to the second layer, or the material of the triangle of the dam is satisfied (triangles constructed of gravel-pebble soil or rock fill).

Under practical conditions two cases may be encountered:

First case. The granulometric composition of the triangle of the dam or the second layer of the filter and their physical characteristics are known. In this case a verification is made of the juncture of the first (second) layer of the filter for the condition of its not having a tendency to spill into the given specific material of the triangle of the dam.

Second case. The granulometric composition and the physical characteristics of the material of the triangles of the dam are unknown.

In this case the granulometric composition of the material of the triangle of the dam which satisfies the condition of a lack of tendency to spill should be planned.

When using the planned granulometric composition in the construction area, the appropriate quarries with a similar composition of gravel-pebble soil are chosen, or, with a study of the rock of the quarries, a process should be worked out (blasting operations) which would ensure the given granulometric composition of the rock fill.

3. Procedure for estimates. A. In the first case (when the granulometric composition and physical characteristics of the material of the triangle of the dam are known), a check is made of the lack of tendency for the material of the first (second) layer of the filter to spill into the material of the triangle of the dam, in accordance with the following relationship:

$$\frac{D_n^n}{D_{cr}^l} \geq 1.8, \quad (40)$$

where  $D_{cr}^l$  is the diameter of the freely forming fractions of the soil of the first layer of the filter.

For transitional zones which have very thick layers, it is recommended to assume for  $D_{cr}^l$ :

$$D_{cr}^l < D_{50}^{nn} \text{ или } D_{75-80}^{nn}, \quad (41)$$

where  $D_{50}$  pertains to the lower limit, i.e., to the estimated curve  $\phi$ , Fig. 6,  $D_{75-80}$  is the average diameter of the pores of the material of the triangle of the dam; it is determined by the following relationship:

$$D_{cr}^l = 0.455 \sqrt{\frac{n_n}{1-n_n}} D_{17}^n, \quad (42)$$

where  $\gamma_n = \frac{D_{90}}{D_{10}}$  is the coefficient of variation in granular composition of the material of the triangle of the dam or of the second layer of the filter;  $n_n$  is the porosity of the material of the triangle of the dam;  $D_{17}^n$  is the diameter of the fractions of the material of the triangle of the dam, in the composition of which 17% and less by weight of the fractions is contained.

If condition (40) is not satisfied, this indicates that either a second layer of the transitional zone is required, or a finer composition should be designated for the material of the triangle of the dam, using the recommendations given in paragraphs c and d of this item (Fig. 14, 15).

Note. If the first layer adjoins with the second, and the second layer with the triangle of the dam, the check for the lack of spilling tendency is made according to the method given above, taking into consideration the data of the adjoining materials.

b. In the second case (when the granulometric composition and physical characteristics of the material of the triangles of the dam are unknown) the granulometric composition of the material of the triangle of the dam should be planned from the condition of a lack of tendency in it to spill into the material of the first (second) layer of the filter.

In this case the procedure for the estimate is as follows:

1) From condition (40), the average diameter of the pores of the material of the triangle of the dam is determined

$$D_0^n = 1.8 \cdot D_{100}^l \quad (43)$$

2) In the relationship (42), instead of  $D_0^n$ , its value is substituted from (43) and the diameter of the fraction  $D_{17}^n$  of the material of the triangles of the dam is determined:

$$D_{17}^n = \frac{1}{0.252 \sqrt{\frac{n_n}{n_n}}} \frac{1 - n_n}{n_n} D_{50}^l \quad (44)$$

The letter symbols are the same as in the relationships (42)-(43).

3. Then, having assigned the value  $\eta_n$  (section 9) and determined the value from the relationship (24), we find  $D_{17}^n$  from the relationship (44) and the estimated values of the fractions  $D_{10}^n$ ,  $D_{60}^n$  and  $D_{100}^n$  from the relationships (25), (26) and (27).

4) From the values of  $D_{10}$ ,  $D_{17}$ ,  $D_{60}$  and  $D_{100}$  obtained, the estimated curve of the planned granulometric composition of the material of the triangle of the dam is plotted on the graph. The estimated curve obtained should be the lower limit of the "zone of permissible granulometric composition of the material of the triangle of the dam," i.e., the granulometric composition of the material of the triangle of the dam in the zone of contact (at a width of 3-5 m, Fig. 14), with the first layer of the filter should not be coarser than the estimated curve.

5) The "zone of permissible granulometric composition of the material of the triangle of the dam" may be obtained by limiting to the lower and upper limits.

In this case the estimated curve  $D_{10}$ ,  $D_{17}$ ,  $D_{60}$  and  $D_{100}$  may be taken for the lower limit and the upper limit may be designated beyond the limit of the

ratio  $\frac{D_{50}^n}{D_{20}^n} \geq 2.5$ , i.e., the upper limit of the "zone" may be brought very close to the lower limit of the "zone of the first layer of the filter."



Note. Material with a coarseness different from the estimated, i.e., of a coarser composition than the estimated curve, may be placed outside the limits of the contact zone (Fig. 14) in the remaining part of the triangle of the dam.

Section 24. Conditions of the seepage-piping strength of the transitional zone at the contact with the material of the triangle of the dam. When the transitional zones are planned, the problem arises of the strength of the transitional zone at the contact with the material of the triangle of the dam (Fig. 13), connected with hydraulic deposit of the material when the triangle of the dam is constructed, and connected with precipitation, in cases of storm waters, which in the first and second cases may penetrate the embankment of the dam. There will be no water runoff along the contact of the transitional zone and the triangle of the dam, however, under practical conditions, because of the considerable perviousness of the material of the transitional zone, its great thickness and the negligible rate of the water forming the flow along the contact (with hydraulic deposit of the material of the triangle of the dam, and when there are storm waters).

In addition, the contact zone of the soil of the transitional zone with the material of the triangle of the dam is created from the condition of the lack of a tendency to spill, with the formation of small arches or arch-shaped particles (section 23, paragraph 3),  $D_{cr} \leq D_{50}$  (or  $D_{cr} \leq D_{50}''$ ) with a size such that, in the process of the seepage, the stable arches made of these fractions cannot be destroyed by the seepage flow with the pressure gradients occurring at the site ( $\bar{I}_k = \sin \alpha$ ), Fig. 3.

If water runoff along the contact of the transitional zone with the material of the triangle of the dam is permissible, the strength and stability of the contact zone may be checked on the basis of the following condition: the critical pressure gradient at which the arch-forming fractions may be removed,  $I_{kp}^c$ ,  $D_{cr} \leq D_{50}$  (or  $D_{cr} \leq D_{50}''$ ), the removal of which disturbs the strength and stability of the contact zone, should be greater than or equal to the actual gradient of the pressure in the contact zone  $\bar{I}_k$  (Fig. 3), i.e.

$$I_{kp}^c \geq \bar{I}_k. \quad (45)$$

The critical gradient of the removal of the arch-forming particles of the soil of the first (second) layer of the filter  $D_{cr} \leq D_{50}$  or  $D_{cr} \leq D_{50}''$  may be determined from the relationship of A.N. Patrashev:

$$I_{kp}^c = \varphi_0' D_{cr} \sqrt{\frac{n_\phi g}{K_\phi}}. \quad (46)$$

$$\varphi_0' = 0.30 (\gamma_\phi - 1) f_\phi; \quad f_\phi = 0.82 - 1.8 n_\phi + 0.0062 (\gamma_\phi - 5),$$

where  $D_{cr}$  is the diameter of the arch-forming particles of the soil of the transitional zone, in contact with the material of the triangle of the dam, in cm;  $\gamma_\phi$ ,  $n_\phi$ ,  $\eta_\phi$ ,  $K_\phi$  (cm/sec)--respectively, the volume weight, porosity (in fractions of a unit), coefficient of variation in granular size and coefficient of seepage of the soil of the transitional zone, in contact with the material of the dam triangle;  $\bar{I}_k$  is determined from relationship (13).

If (when there is seepage flow along the contact) condition (45) is satisfied, the strength and stability of the contact zone are not disturbed. Otherwise, there may be negligible settling, resulting from the change in size of the arch-forming particles, toward an increase in their diameter.

Section 25. An example of planning the granulometric composition of the soil (of the filters) of the transitional zones. In this example there is a discussion of the case (variant 1) when the granulometric composition of the run-of-bank soils destined for the installation of the filters of the transitional zones and the granulometric composition of the rock fill of the triangle of the dam are unknown.

For the given type of rockfill dam with a loam core, shown in Fig. 1,a, the granulometric composition of the soil of the filters of the transitional zones and the maximal permissible granulometric composition of the rock fill at the contact with the transitional zone, with respect to size, must be planned (Fig. 14).

#### Initial Data

Material of the core of the dam--loam.

Average estimated characteristics of the loam as follows:

Content of clay particles $d < 0.005 \text{ mm}$ . . . . .	15%
Dust particles from 0.005 to 0.05 mm . . . . .	20%
Sand particles from 0.05 to 2 mm . . . . .	45%
Gravel-pebble particles $> 2 \text{ mm}$ . . . . .	20%
Volume weight of the fram of loam at placement in	
the core of the dam $\gamma_{\text{ck}}$ . . . . .	1.75 t/m <sup>3</sup>
Specific gravity of the particles of loam $\Delta$ . . . . .	2.70 t/m <sup>3</sup>
Porosity $n$ . . . . .	0.35
Plasticity number $W_{\pi}$ . . . . .	13.98%
Upper limit of plasticity $W_T$ . . . . .	35.46%
Lower " " " " $W_p$ . . . . .	21.48%
Optimal moisture content $W_o$ . . . . .	$\approx 17\%$
Coefficient of water saturation $G$ with optimal	
moisture content . . . . .	0.85

The granulometric composition of the loam is given in Fig. 16.

#### Procedure for Estimate

a) Material of the core of the dam--loam; with the basic parameters: clay particles in its composition  $d < 0.005 \text{ mm}$ --15%, plasticity number  $W_{\pi}=13.98 > 7$  (add.), coefficient of water saturation (when  $W_o$ )  $G=0.85=0.85$  (add), should be regarded as cohesive soil and all the estimates for planning the granulometric composition of the first layer of the filter of the transitional zone should be made as for cohesive soil.

b) The volume weight of dry soil ("frame") of loam (broken structure), when it is placed in the core of the dam should be, according to the relationship (1)

$$\gamma_{ск} > \gamma_{ск}' = \frac{\Delta}{1 + \varepsilon_T};$$

where  $\Delta = 2.70 \text{ g/cm}^3$ ,  $\varepsilon_T$  is the coefficient of porosity with  $W_T$  (moisture content of the flowability limit) and is equal to:

$$\varepsilon_T = \frac{\Delta W_T}{100 \gamma_B} = \frac{2.70 \cdot 35.16}{100 \cdot 1} = 0.96,$$

where  $\gamma_B \approx \text{g/cm}^3$  is the volume weight of the water; after substituting the values we obtain

$$\gamma_{ск}' = \frac{2.70}{1 + 0.96} = 1.38 \text{ g/cm}^3.$$

Consequently, when loam is placed in the core of the dam, its volume weight should be

$$\gamma_{ск} > 1.38 \text{ g/cm}^3 \quad (\text{по проекту } \gamma_{ск} = 1.75 \text{ g/cm}^3).$$

c) The estimated pressure gradient when the seepage flow oozes into the lower edge of the core of the dam may be determined either by the EGDA method or by the relationship (12):

$$I_p^{\max} = \text{tg } \alpha,$$

where  $\alpha$  is the angle of incline of the downstream slope of the core toward the level.

In this case,  $\alpha = 80^\circ$ , and  $I_p^{\max} = \text{tg} 80^\circ = 5.7$ .

d) For this pressure gradient,  $I_p^{\max} = 5.7$ , the estimated value of the diameter of the pores of the soil,  $D_0^{\rho_{act}}$ , of the first layer of the filter of the transitional zone, protecting the cohesive soil, is determined from the condition of inadmissibility of breaking away or separation of clumps of clay particles of soil, in accordance with the relationship (18):

$$D_0^{\rho_{act}} = \sqrt{\frac{0.34}{\varphi I_p + \cos \theta}} = \sqrt{\frac{0.34}{0.38 \cdot 5.7 + 0}} = 0.4 \text{ cm} = 4 \text{ mm},$$

where  $I_p = 5.7$ ;  $\varphi = 0.38$ --from the table (p. 10);  $\theta \approx 90^\circ$ --the angle between the directions of the force of gravity and the seepage rate.

Consequently, to avoid separation or breaking away of clumps of particles of cohesive soil, the composition of the coarse-grained material of the first layer of the filter of the transitional zone should be such that, with its most disadvantageous distribution (separation), the maximal diameter of its pores  $D_0^{\max}$ , as indicated above, would be less than or equal to  $D_0^{\rho_{act}}$ , i.e.,  $D_0^{\max} \leq D_0^{\rho_{act}}$  (19).

e) This soil composition, with an estimated diameter of the pores of  $D_0^{pact} = 4$  mm, should protect the cohesive soil of the core of the dam from erosion with seepage along the contact, i.e., condition (20) should be satisfied:  $I_k \leq 0.75 I_{kp}$ , where  $I_k$  is assumed from the relationship (13),  $I_{kp}$ —from the relationship (21).

In this case we have  $I_k = \sin \tau = \sin 80^\circ = 0.98$ ;

$$I_{kp} = \frac{1}{\sqrt{D_0^{pact}}} = 0.75 \cdot \frac{1}{\sqrt{0.4}} = 0.75 \cdot 0.83.$$

Condition (20) is not satisfied, since

$$I_k = 0.98 > 0.75 I_{kp} = 0.62.$$

In this case a new composition is adopted for the first layer of the filter, from the condition (22), i.e.

$$D_0^{max} = \frac{0.56}{(I_k + 0.56)^2} = \frac{0.56}{(0.98 + 0.56)^2} = 0.23 \text{ cm},$$

$$D_0^{max} < 2.3 \text{ mm}.$$

The granulometric composition of the first layer of the filter, the maximal size of the pores of which corresponds to the relationship (22), satisfies the basic condition (19) and condition (20).

Consequently, in this case, to be assumed as the estimated size of the pores of the first layer of the filter is

$$D_0^{max} = D_0^{pact} = 2.3 \text{ mm}$$

f) The coefficient of variation in the granular size,  $\eta_\phi$ , should be designated for plotting the planned granulometric composition of the soil of the first layer of the filter of the transitional zone with an estimated size of the pores  $D_0^{pact} = 2.3$  mm. According to section 9,  $\eta_\phi \leq 50$ . As an example we will take  $\eta_\phi = 36$ .

For the  $\eta_\phi = 36$  assumed, the permissible porosity for the rounded fractions of the material of the filter  $n_\phi^I$  is determined from the relationship (24):

$$n_\phi^I = n_0 - 0.1 \lg \eta_\phi = 0.40 - 0.1 \lg 36 = 0.24.$$

g) We determine the diameter of the fraction  $D_{17}$  from the relationship (23)

$$D_{17}^I \leq \frac{D_0^{pact}}{\alpha C} \cdot \frac{1 - n_\phi^I}{n_\phi^I} = \frac{2.3}{2.8 \cdot 0.82} \cdot \frac{1 - 0.24}{0.24} = 3.2 \text{ mm};$$

$$\alpha = 1 + 0.05 \eta_\phi^I = 1 + 0.05 \cdot 36 = 2.8;$$

$$C = 0.455 \sqrt{\eta_\phi^I} = 0.455 \sqrt{36} = 0.82.$$

h) The effective diameter of the fraction of the first layer of the filter of the transitional zone  $D_{10}$  is determined from the relationship (25)

$$D_{10}^I = 1 D_{17}^I = 0.58 \cdot 3.2 \approx 1.6 \text{ mm}.$$

for  $\eta_{\phi}^i = 36$  from Fig. 5,  $i=0.58$ .

i) The controlling diameter of the fraction  $D_{60}$  is determined from the condition (26)

$$D_{60}^i = \eta_{\phi}^i D_{10}^i = 36 \cdot 1.6 \approx 58 \text{ mm.}$$

j) The maximal diameter of the fraction  $D_{100}^{\max} = D_{100}^i$  is determined from the relationship (27)

$$D_{100}^i < D_{10}^i + 10^x \cdot D_{60}^i \frac{\eta_{\phi}^i - 1}{5\eta_{\phi}^i} = 1.6 + 10^{3.58} \frac{36 - 1}{5 \cdot 36^3} = 315 \text{ mm.}$$

$$x = 1 + 1.28 \lg \eta_{\phi}^i = 1 + 1.28 \lg 36 = 3.$$

k) From the estimated values obtained the estimated curve of the granulometric composition of the soil of the first layer of the filter of the transitional zone is plotted (curve  $\phi$ , Fig. 16).

The estimated curve  $\phi$  obtained should be the "lower limit." A deviation to the right beyond the "lower limit" is not permitted. Deviation from the estimated curve  $\phi$  and the plotting of the "zone of permissible granulometric composition of the soil suitable for placing in the first layer of the filter of the transitional zone" are given in section 15, paragraphs f, g, h, i; and in Figure 16.

l) For high and superhigh dams a check should be made for the condition of the silting nature of the first layer of the filter with the material of the core of the dam and the welding capacity of the cracks in the core of the dam, if their formation is possible.

The condition of a tendency to silt (welding capacity of the cracks) will be fulfilled if the planned composition of the first layer of the filter satisfies the criterion (32), i.e.

$$\frac{D_{17}^i}{d_{90}} \leq \frac{26.5(1 - n_{\phi}^i)}{n_{\phi}^i \sqrt{\eta_{\phi}^i}}$$

for the given estimated case we have:

$$D_{17}^i = 3.2 \text{ mm; } d_{90} = 3.8 \text{ mm; } n_{\phi}^i = 0.24; \eta_{\phi}^i = 36.$$

After substituting the values, we obtain:

$$\frac{D_{17}^i}{d_{90}} = \frac{3.2}{3.8} = 0.84; \quad \frac{26.5(1 - n_{\phi}^i)}{n_{\phi}^i \sqrt{\eta_{\phi}^i}} = \frac{26.5(1 - 0.24)}{0.24 \sqrt{36}} = 46.2.$$

Condition (32) is satisfied, since  $0.84 > 46.2$ . Consequently, this composition of the first layer of the filter will satisfy the condition of the silting capacity, and consequently, the welding capacity of the cracks.

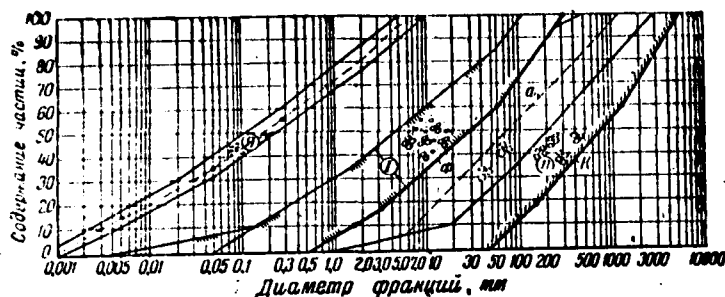


Figure 16. Graph of the Planned Compositions of the Filter of the Transitional Zone and the Material of the Triangle of the Dam

$\mathcal{A}$ --cohesive (clay) soil of the core (facing) of the dam, protected by the filter of the transitional zone;  $l$ --zone of the planned permissible granulometric composition of the soil suitable for placing in the first layer of the filter of the transitional zone;  $n$ --zone of permissible granulometric composition of the rock fill, suitable for placing in the triangle of the dam at the contact with the transitional zone;  $\phi$ --estimated curve of granulometric composition of the filter of the transitional zone (lower limit), beyond the limit of which the deviation of the granulometric composition of the soil of the filter is inadmissible;  $a$ --upper limit of the "zone of the granulometric composition of the rock fill," to which the granulometric composition of the rock fill at the contact with the transitional zone should be approximated.  $A$ --Content of particles, %;  $B$ --diameter of the fractions, mm.

m) The coefficient of seepage of the estimated composition of the soil of the first layer of the filter of the transitional zone (curve  $\phi$ ) may be determined from the formula (28):

$$K_{\phi} = \frac{4\phi_1}{\gamma} \frac{\gamma_1}{\gamma_{\phi}} \frac{n_{\phi}^3}{(1 - n_{\phi})^2} D_{17}^2 = \frac{4 \cdot 1}{0.013} \frac{1}{1.56} \frac{0.24^3}{(1 - 0.24)^2} 0.32^2 = 2.4 \text{ см/сек.}$$

n) The granulometric composition of the soil of the first layer of the filter with longitudinal seepage should be regarded as piping-resistant, if condition (29) is fulfilled, i.e.

$$d_{cl} = \frac{0.0032 \sin \alpha}{\gamma_0' \sqrt{n^3 K^1}} D_5^1$$

For the given estimated case we have:  $\sin \alpha = 0.98$ ;  $D_{10}^1 = 1.6 \text{ mm}$ ;

$$\begin{aligned} n_{\phi}^1 &= 0.24; K_1 = 2.4 \text{ см/сек}; \gamma_{\text{ск}}^1 = \Delta(1 - n_{\phi}^1) = 1.98 \text{ т/м}^3; \gamma_{\phi}^1 = 36; \\ f_* &= 0.82 = 1.8 \cdot 0.24 + 0.0062(36 - 5) = 0.76; \\ \gamma_0 &= 0.30(\gamma^1 - 1)f_* = 0.30(1.98 - 1) \cdot 0.76 = 0.221. \end{aligned}$$

After substituting the values, we obtain:

$$d_{ci} = \frac{0.0032 \cdot 0.98}{0.221 \sqrt{0.24/2.4}} = 0.013 \text{ cm} = 0.43 \text{ mm},$$

$$d_{ci} = 0.43 \text{ mm} < D_{ci}^I = 1.0 \text{ mm}.$$

Consequently, this composition of the soil of the first layer of the filter should be considered as piping-resistant with longitudinal seepage.

o) From the estimates given it follows that the planned granulometric composition of the first layer of the filter satisfies all the basic requirements made of soils of the first layer of the filter of the transitional zones for high and superhigh dams, and therefore it may be recommended for construction. "The zone of permissible granulometric composition of the soil suitable for placing in the first layer of the filter of the transitional zone" is given in Fig. 16.

p) The thickness of the first layer of the filter (and the following layers) for high and superhigh dams is designated in accordance with section 10, from the relationship (10).

Juncture of the Transitional Zone and the Material of the Triangles of the Dam

When planning the juncture of the transitional zone with the material of the triangles of the dam, the directives presented in section 23 should be the guideline.

In this example, the case is discussed in which the granulometric composition and the physical characteristics of the material of the triangles of the dam are unknown.

For a single-layer transitional zone, the granulometric composition of the material of the triangles of the dam must be planned so as to satisfy the condition of the lack of a tendency for the planned material of the first layer of the filter to spill into the rock fill of the triangle of the dam.

Procedure for Estimate

1) The average diameter of the pores of the planned rock fill of the triangles of the dam,  $D_o^n$ , is determined from the relationship (43)

$$D_o^n \leq 1.8 D_{50}^I = 1.8 \cdot 30 = 54 \text{ mm}$$

where  $D_{50}^I = 30 \text{ mm}$  is the size of the arch-forming fractions of the first layer of the filter, corresponding to the estimated curve  $\phi$ , Fig. 16.

2) The coefficient of the variation in granular size of the material of the rock fill, designated for the construction of the triangles of the dam,  $\eta_n$ , should be designated on the basis of the availability of specific run-of-bank material. In order to avoid the separation of the material when it is

transported and placed in the embankment of the dam, however, its coefficient of variation in granular size should, insofar as is possible, not exceed the value of  $\eta_n \leq 25$ .

As an example, we assume the coefficient of variation in granular size of the material of the rock fill of the triangle of the dam to be  $\eta_n = 15$ . The porosity is determined from the relationship (24):

$$n_n = 0,45 - 0,1 \lg \eta_n = 0,45 - 0,1 \lg 15 = 0,34.$$

3) The size of the fractions  $D_{17}$  is determined from the relationship (44):

$$D_{17}^n = \frac{1}{0,252 \sqrt[4]{\eta_n}} \frac{1 - n_n}{n_n} D_{30}^1 = \frac{1}{0,252 \sqrt[4]{15}} \frac{1 - 0,34}{0,34} 30 = 145 \text{ mm.}$$

4) The size of the fractions  $D_{10}^n$  is determined from the relationship (25):  $D_{10}^n = i D_{17}^1 = 0,63 \cdot 145 \approx 90 \text{ mm}$ , for  $\eta_n = 15$  from the graph of Fig. 5  $i = 0,63$ .

5) The size of the fractions  $D_{60}^n$  is determined from the relationship (26):

$$D_{60}^n = \eta_n D_{10}^n = 15 \cdot 90 = 1350 \text{ mm.}$$

6) The maximal size of the fractions of the rock fill is determined from the relationship (27):

$$D_{100}^n = D_{10}^n + 10^x D_{60}^n \frac{\eta_n - 1}{5 \eta_n^2} = 90 + 10^{2,5} \cdot 1350 \frac{15 - 1}{5 \cdot 15^2} = 5380 \text{ mm,}$$

$$x = 1 + 1,28 \lg \eta_n = 1 + 1,28 \lg 15 = 2,5.$$

7) From the values of  $D_{10}^n$ ,  $D_{17}^n$ ,  $D_{60}^n$  and  $D_{100}^n$  obtained, the estimated curve is plotted for the planned granulometric composition of the material of the triangle of the dam, Fig. 16, curve K.

The estimated curve obtained should be the lower limit, i.e., the granulometric composition of the material of the triangle of the dam in the zone of contact (Fig. 14) with the first layer of the filter should not be coarser than the estimated curve K, Fig. 16, "zone of permissible granulometric composition of the material of the triangle of the dam" may be designated as is indicated in section 23 (paragraph 5).

It is recommended that at the contact with the filter of the transitional zone the granulometric composition of the rock fill, with respect to coarseness, approximate the upper limit of the recommended zone,  $\eta$ , i.e., the line a, Fig. 16. Then the juncture of the transitional zone with the rock fill will be considerably strengthened.

Material with a coarseness different from that estimated may be placed in the embankment of the dam beyond the limits of the contact zone (Fig. 14).



## B. Method of Selecting the Granulometric Composition of the Material of the Transitional Zones

The selection of the granulometric composition of the filters of the transitional zones, as was indicated above (see Chapter 3, variant 2), is made when the run-of-bank soils or products of rock crushing plants are known. From these there must be a selection of the appropriate composition of the filters of the transitional zones and a determination of the possibility of their juncture with the material of the triangle of the dam of the first layer of the filter (single-layer transitional zone) or with the placing of an additional second layer of the transitional zone (two-layer transitional zone).

The method of selecting the material of the transitional zones remains essentially the same as in case A of chapter 3 above, but the procedure for estimating and selecting the series of estimative parameters is different here.

The procedure for estimating and explaining in this case should be done (to avoid repetition) by using a specific example for selection of the composition of the filters of the transitional zones, as applied to a superhigh dam of the Nurekskaya GES type, with a pressure head  $H=300$  m.

Here the construction of the triangles of the dam is discussed in two variants: made of gravel-pebble soil and from rock fill.

### Section 26. Example of Selecting the Granulometric Composition of the Soil (Filters) of the Transitional Zones

#### 1. Initial Data

It is required that: for the accepted type of dam made of local materials with a pressure head of  $H=300$  m (Fig. 1, c) with a loam core, the selection be made from the available run-of-bank soil (Fig. 17), of the granulometric composition of the first layer of the filter of the transitional zone which should satisfy all the requirements made of the composition of transitional zones of superhigh dams, securely protect and ensure seepage-piping strength and stability of the core (facing) of the dam.

It is planned that the material used for construction of the triangles of the dam be the same run-of-bank soil 1 (first variant) and run-of-bank rock 2 for the construction of the triangles made of rock fill (second variant, Fig. 17).

The material of the core of the dam is loam.

The average estimated characteristics of the loam are:

A content of clay particles,  $d < 0.005$  mm-11.2%;

Silty particles from 0.005 to 0.05 mm--76.6%;

Sand particles (0.05-2.0 mm)--11%;

Volume weight of the dry (frame) loam when placed in the core of the dam  $\gamma_{\text{ck}}=1.7 \text{ t/m}^3$ ;

Specific gravity of the particles of loam  $\Delta=2.70 \text{ t/m}^3$ ;

Plasticity number  $W_p=8.45\%$ ;

Upper and lower limits of the plasticity respectively 29.19 and 20.74%;

Coefficient of water saturation  $G=0.73-0.91$  with the optimal moisture content  $W_p=15-18\%$ ;

Material for the filters--sand-gravel-pebble soil 1, in Fig. 17, which has the following basic characteristics:

Volume weight of the natural structure  $\gamma_{\text{cp}}=2.1 \text{ t/m}^3$  (friable structure,  $\gamma_{\text{cp}}=1.93 \text{ t/m}^3$ , dense,  $\gamma_{\text{cp}}=2.29 \text{ t/m}^3$ );

Specific gravity of the particles of the soil  $\Delta=2.70 \text{ t/m}^3$ ;

Porosity  $\eta=0.22$ ;

Coefficient of variation in granular size  $\eta = \frac{D_{60}}{D_{10}} = 175$

Coefficient of seepage  $K_{\text{cp}} \cong 1700 \text{ m/day}$ ;

Material of the rock fill for the triangles of the dam--run-of-bank rock 2, Fig. 17;

Volume weight  $\gamma_{\text{ck}} \cong 1.62 \text{ t/m}^3$ ; specific gravity  $\Delta=2.70 \text{ t/m}^3$ ;

Porosity  $\eta=0.39$ , coefficient of variation in granular size  $\eta=8$ .

## 2. Procedure for Estimate

a) The material of the core of the dam--loam (principal characteristics given in paragraph 1)--with respect to its properties is cohesive soil, namely:

Content of clay particles  $d<0.005 \text{ mm}$ --11.2%;

Plasticity number of the loam  $W_p=8.45>7$ ;

Coefficient of water saturation  $G=0.73-0.91>0.85$ .

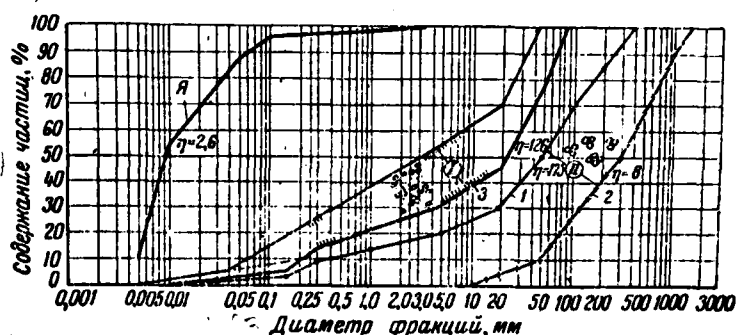


Figure 17. Graph of the Selected Compositions of the Material of the Transitional Zones and Material of the Triangles of the Dam

A--loamy soil of the core; 1--run-of-bank soil destined for the filters of the transitional zone and as the material for the triangles of the dam; 2--run-of-bank rock for the triangle of the dam (maximal size of it in the zone of contact with the filter of the transitional zone); 3--estimated granulometric composition of the soil of the first layer of the filter of the transitional zone, obtained after sifting from soil 1 large fractions D 85 mm; I--"zone of permissible granulometric composition of soil suitable for placing in the first layer of the filter of the transitional zone"; II--"zone of permissible granulometric composition of the rock fill for the triangles of the dam"; A--Content of particles, %; B--diameter of fractions, mm.

The volume weight of the frame of the soil at its placement, ensuring molecular cohesion, should be:

$$\gamma_{ck} > \gamma'_{ck} = \frac{\Delta}{1 + \varepsilon_r}$$

where  $\Delta = 2.70 \text{ t/m}^3$ ;  $\varepsilon_r$  is the coefficient of porosity at the flowability limit  $W_T = 29.19\%$ ;

$$\varepsilon_r = \frac{\Delta W_T}{100 \gamma_n} = \frac{2.70 \cdot 29.19}{100 \cdot 1} = 0.79; \quad \gamma'_{ck} = \frac{2.70}{1 + 0.79} = 1.51 \text{ t/m}^3.$$

This soil at its placement will have molecular cohesion, since  $\gamma_{ck} > \gamma'_{ck}$  ( $1.70 > 1.51 \text{ t/m}^3$ ).

The characteristics presented give every basis to believe the given loamy soil to be cohesive. Consequently, selecting the composition of the first layer of the filter for this composition of loam should be done in accordance with the method for cohesive soils.

b) The estimated pressure gradient is  $I_p$ .

The maximal pressure gradient when the seepage flow oozes onto the lower limit of the core of the dam, determined by the relationship (12) may be taken as the estimated pressure gradient:

$$I_p = I_{\max} = \operatorname{tg} \alpha,$$

where  $\alpha$  is the angle of incline of the downstream slope of the core toward the level (Fig. 1, c).

In this case  $\alpha = 76^\circ$ , consequently,

$$I_p = I_{\max} = \operatorname{tg} 76^\circ = 4.01.$$

c) The estimated value of the diameter of the pores of the soil  $D_0^{\text{pacr}}$  of the first layer of the filter of the transitional zone, protecting the cohesive soil, is determined from the condition (18) of the inadmissibility of the breaking away or separation of clumps of clay particles of the soil:

$$D_0^{\text{pacr}} = \sqrt{\frac{0.34}{\varphi I_p + \cos \theta}} = \sqrt{\frac{0.34}{0.32 \cdot 4.01 + 0.71}} = 0.41 \text{ cm} = 4.1 \text{ mm},$$

where  $I_p = 4.01$ ;  $\varphi = 0.32$ --from the table,  $p$ ;  $\theta = 45^\circ$  is the angle between the directions of the force of gravity and the rate of seepage.

Consequently, in order to avoid separation or breaking away of clumps of the particles of cohesive soil, the composition of the first layer of the filter should be such that with its most disadvantageous distribution, the maximal diameter of its pores,  $D_0^{\max}$ , would be:  $D_0^{\max} \leq D_0^{\text{pacr}}$ .

d) A check should be made as to whether the granulometric composition of the soil of the first layer of the filter with the limit value of the diameter of the pores  $D_0^{\text{pacr}} = 4.1 \text{ mm}$  satisfies the condition of the non-erosion of the cohesive soil with seepage along the contact, i.e., whether condition (20) is satisfied:

$$I_k \leq 0.75 I_{kp},$$

where  $I_k$  is assumed from the relationship (13);  $I_{kp}$ --from relationship (21).

In this case we have:

$$I_k = \sin \alpha = \sin 76^\circ = 0.97,$$

$$I_{kp} = \frac{1}{\sqrt{D_0^{\max}}} = 0.75 = \frac{1}{\sqrt{0.41}} = 0.75 = 0.81.$$

Condition (20) is not satisfied, since

$$I_k > 0.75 I_{kp} (0.97 > 0.61).$$

In this case,  $D_0^{\max}$  from condition (22) is taken as the estimated diameter of the pores of the soil of the first layer of the filter, i.e.

$$D_0^{\text{pacr}} = D_0^{\max} < \frac{0.56}{(I_k + 0.56)^2} = \frac{0.56}{(0.97 + 0.56)^2} = 0.24 \text{ cm}.$$

consequently, to be taken as the estimated diameter of the pores of the first layer of the filter is

$$D_0^{\text{pacc}} = D_0^{\text{max}} = 2.4 \text{ mm.}$$

e) Knowing the estimated value of the diameter of the pores of the material of the first layer of the filter  $D_0^{\text{pacc}} = 2.4 \text{ mm}$ , the sand-gravel-pebble soil 1 should be analyzed for suitability for placement in the first layer of the filter in its natural state or with processing, and on the basis of the analysis, optimal recommendations are given.

1. To ascertain the suitability of natural run-of-bank soil 1, without its processing for the construction of the first layer of the filter, it should be established whether the basic condition (19) is satisfied, i.e.  $D_0^{\text{max}} \leq D_0^{\text{pacc}}$ .

For this purpose, from the relationship (3), the maximal size of its pores  $D_0^{\text{max}}$  are determined, having first determined the value

$$\begin{aligned} \alpha &= 1 + 0.05\gamma_1 = 1 + 0.05 \cdot 175 = 9.75; \\ D_0^{\text{max}} &= 0.455 \cdot 9.75 \sqrt[0.22]{175} \cdot 2.5 = 7.3 \text{ mm.} \end{aligned}$$

From the estimate given it follows that the basic condition (19) is not satisfied, i.e.,  $D_0^{\text{max}} > D_0^{\text{pacc}}$  ( $7.3 > 2.4$ ).

Consequently, the run-of-bank soil 1 cannot be used for placement in the first layer of the filter without processing.

There should be an analysis of it and an outline for sifting out its coarse fractions, so that the basic condition (19) and other requirements are satisfied.

f) An analysis of the run-of-bank soil 1 shows that to satisfy the basic condition (19), it is sufficient to sift out of this soil the fractions  $D > 85 \text{ mm}$  (35%), without washing away the fine fractions, i.e., the given run-of-bank soil may be used to construct the first layer of the filter of the transitional zone in a volume of 65%, Fig. 17, curve 3.

After the fractions  $D > 85 \text{ mm}$  have been sifted out, the soil composition 3 obtained may have the following characteristics:

Coefficient of variation in granular size  $\eta' = 126$ ;

Porosity in accordance with the relationship (24)

$$n_{\phi} = n_0 + 0.1 \lg \eta' = 0.40 + 0.1 \lg 126 = 0.29;$$

The volume weight  $\gamma'_{\text{sk}} = \Delta(1 - n_{\phi}) = 2.70(1 - 0.29) = 1.92 \text{ m.m.}; D_{17}^I = 0.5 \text{ mm};$

$$K_{\phi} = 0.25 \text{ cm/cm}$$

in accordance with the relationship (28).

The maximal size of the pores of the given composition of the soil is determined from the relationship (3), having first determined  $\lambda$  -- the coefficient of nonuniformity of the distribution of the particles in the soil, or the coefficient of piping locality:

$$\lambda = 1 + 0,05 \gamma_{\phi}^I = 1 + 0,05 \cdot 126 = 7,3;$$

$$D_0^{max} = 0,455 \cdot 7,3 \cdot \sqrt[126]{\frac{0,29}{1-0,29}} \cdot 0,5 = 1,5 \text{ mm}.$$

From the above, it follows that the basic condition (19) is fulfilled, i.e.,  $D_0^{max} < D_0^{acc}$  ( $1,5 < 2,4 \text{ mm}$ ), consequently, this composition of the soil 3 (with the sifting of the fraction  $D > 85 \text{ mm}$ ), which satisfies the basic condition (19), may be used for the first layer of the filter, if the other requirements are satisfied.

g) Taking into consideration the great degree of variation in granular size  $\gamma^I = 126$ , this composition of the soil 3 should be checked for the condition of the silting capacity and welding capacity of the cracks in the core of the dam, regardless of whether their formation is possible or not (with the satisfaction of the condition of the silting capacity, this composition of the filter provides a considerable reserve strength with respect to the soil of the core of the dam protected by it).

The condition of the silting capacity and welding capacity for the cracks will be fulfilled if the selected composition of the first layer of the filter made of soil 3 satisfies the criterion (32), i.e.

$$\frac{D_{17}^I}{d_{90}} \leq \frac{26,5 (1 - n_{\phi}^I)}{n_{\phi}^I \sqrt[6]{\gamma^I}}.$$

In this case we have:

$$D_{17}^I = 0,5 \text{ mm}; \quad d_{90} = 0,06 \text{ mm}; \quad n_{\phi}^I = 0,29; \quad \gamma^I = 126.$$

After substitution of the values, we obtain:

$$\frac{D_{17}^I}{d_{90}} = \frac{0,5}{0,06} = 8,35; \quad \frac{26,5 (1 - 0,29)}{0,29 \sqrt[6]{126}} = 29.$$

The condition (32) is satisfied. Consequently, this composition of the first layer of the filter will satisfy the condition of the silting and welding capacity for cracks.

h) The granulometric composition of the soil 3 of the first layer of the filter should be checked for piping strength with longitudinal contact seepage.

The soil 3 should be considered piping-resistant, if the condition (29) is satisfied, i.e.

$$d_{10} \leq \frac{0,0032 \sin \alpha}{\gamma_{\phi}^I \sqrt[6]{n_{\phi}^I / K^I}} \sim D_5^I.$$

For the given example we have:

$$\sin \alpha = 0,97; D_5^1 = 0,16 \text{ mm}; \gamma_{ck}^1 = 1,92 \text{ m/m}^3; n_{\phi}^1 = 0,29; \eta^1 = 126.$$

$$K_{\phi}^1 = 0,25 \text{ cm/cm}.$$

$$f_* = 0,82 - 1,8n_{\phi}^1 + 0,0062(\eta^1 - 5) = 0,82 - 1,8 \cdot 0,29 + 0,0062(126 - 5) = 1,05;$$

$$\gamma_0' = 0,30(\gamma_{ck}^1 - 1)f_* = 0,30(1,92 - 1) \cdot 1,05 = 0,29.$$

After substituting the values, we obtain:

$$d_{cl} = \frac{0,0032 \cdot 0,97}{0,29 \sqrt{0,29/0,25}} = 0,0097 \text{ cm} = 0,097 \text{ mm}.$$

$$d_{cl} < D_5^1, \text{ i.e. } 0,097 < 0,16 \text{ mm}.$$

Consequently, this composition of the soil 3 of the first layer of the filter should be considered piping-resistant with longitudinal contact seepage.

1) The granulometric composition of the soil 3 for the first layer of the filter, obtained from run-of-bank soil 1 by sifting the fractions  $D > 85 \text{ mm}$  (35%), has the coefficient of variation in granular size  $\eta = 126 > 50$ .

The coefficient of variation in granular size  $\eta > 50$  may be taken for the first layer of the filter of the transitional zone protecting the cohesive soil, if this soil satisfies the requirements given in section 9, paragraph 2.

1) The presence in the composition of the given soil of sandy fractions up to 2 mm should be not less than 20-25%. The content of sandy fractions in the soil 3 obtained is 25%.

2) The estimated diameter of the pores of the soil  $D_{\phi}^{\rho_{act}}$  should be more than the actual maximal  $D_{\phi}^{\max}$  in the ratio  $D_{\phi}^{\rho_{act}} > (1,25-1,50) D_{\phi}^{\max}$ . In this case  $D_{\phi}^{\rho_{act}} = 2.4 \text{ mm}$ ,  $D_{\phi}^{\max} = 1.5 \text{ mm}$ . Consequently, this condition is satisfied, since  $D_{\phi}^{\rho_{act}} > 1.5 D_{\phi}^{\max}$ , i.e.,  $2.4 > 2.25 \text{ mm}$ .

3) the composition of soil 3 obtained satisfies the criterion of the silting capacity and the welding capacity for the cracks in the core of the dam.

4) With contact seepage and the anticipated hydrodynamic conditions, the removal of fine piping particles  $d_{cl}$  in size will be considerably less than the permissible size  $D_5^1$ , i.e.,  $d_{cl} < D_5^1$  ( $0.097 \text{ mm} < 3\%$  and less than  $D_5 = 0.16 \text{ mm}$ );

5) This composition of the soil 3 satisfies (with a reserve) the criterion (20), i.e., the nonerodability of the cohesive soil with longitudinal contact seepage, since  $D_{\phi}^{\rho_{act}} = 2.44 \text{ mm} > D_{\phi}^{\max} = 1.5 \text{ mm}$ . In reality, we have:

$$I_{kp} = \frac{1}{\sqrt{D_{\phi}^{\max}}} - 0,75 = \frac{1}{\sqrt{0,15}} - 0,75 = 1,82;$$

$$I_k < 0,75 I_{kp}; \quad 0,97 < 1,37 \quad (k_{san} = 1,4).$$

From the estimates and the analysis given, it follows that all the requirements imposed on the composition of the soil of the first layer of the filter of the transitional zone with  $\eta > 50$  are fully satisfied.

Consequently, the soil 3 (65% of the run-of-bank soil) obtained from the natural run-of-bank soil 1 by sifting out only the coarse fractions  $D > 85 \text{ mm}$  may be recommended for placement in the first layer of the filter of the transitional zone.

"The zone of permissible granulometric composition of the soil 3, suitable for placing in the first layer of the filter of the transitional zone" is given in Figure 17.

j) The thickness of the first layer of the filter (and of the next layers, if they are necessary) for high and superhigh dams is designated in accordance with section 10, from the relationship (10).

In this case the minimal thickness of the first layer of the filter should be:  $T_{\min} > 3 + 3.5 = 6.5 \text{ m}$ , where  $t' = 3.5 \text{ m}$  is the total size of the horizontal shift of the core or triangle of the dam.

### 3. Juncture of the Transitional Zone With the Material of the Triangles of the Dam

In paragraph 1 of this section (initial data), it was indicated that the same run-of-bank soil 1 (first variant) and run-of-bank rock 2 for the rock fill (second variant) are to be used as material for constructing the triangles of a dam (Fig. 17).

#### Procedure for Estimate

1. The material of the triangle of the dam is natural run-of-bank soil 1, Fig. 17.

a) We determine the average size of the pores of the material of the triangle of the dam (soil 1),  $D_{17}''$  from the relationship (42):

$$D_{17}'' = 0.455 \sqrt[3]{\frac{n_{17}}{1 - n_{17}}} D_{17}'' = 0.455 \sqrt[3]{\frac{0.22}{1 - 0.22}} 2.5 = 0.75 \text{ mm};$$

$$v_{17} = 175; \quad n_{17} = 0.22; \quad D_{17}'' = 2.5 \text{ mm}.$$

b) The lack of a tendency for the material of the first layer of the filter to spill into the material of the triangle of the dam will be ensured if condition (40) is satisfied:  $\frac{D_{17}''}{D_{50}'} < 1.8$ , hence  $D_{cr}' > \frac{D_{17}''}{1.8} = \frac{0.75}{1.8} = 0.42 \text{ mm}$ , which is considerably less than  $D_{50}' = 2.2 \text{ mm}$ .

Consequently, in this case  $D_{cr}' = D_{15}' = 0.42 \text{ mm}$  -- the lack of a tendency for the material of the first layer of the filter to spill into the material of the triangle of the dam made of soil -- is fully ensured.



2. The material of the triangle of the dam is run-of-bank rock 2 (Fig. 17).

a) The average diameter of the pores of this material

$$D_0^n = 0,455 \sqrt{\frac{n_n}{1-n_n}} D_{17}^n = 0,455 \sqrt{\frac{0,39}{1-0,39}} 70 = 29 \text{ mm},$$

$$r_n = 8; \quad n_n = 0,39; \quad D_{17}^n = 70 \text{ mm}.$$

b) According to section 23 the arch-forming fractions of the layer of the filter of the transitional zone may be assumed as  $D_{cr}' \leq D_{50}$ . In this case  $D_{50} = 22 \text{ mm}$ .

c) The lack of a tendency for the material of the first layer of the filter to spill into the material of the rock fill will be ensured if condition (40) is satisfied

$$\frac{D_0^n}{D_{cr}'} < 1,8,$$

We assume  $D_{cr}' = D_{50} = 22 \text{ mm}$ , we obtain  $\frac{29}{22} = 1,6 < 1,8$ .

The lack of tendency for the material of the first layer of the filter of the soil 3 to spill into the material of the triangle of a dam made of rock fill 2 is ensured, and is not required for the additional transitional zone (of the second layer).

d) In this case run-of-bank material 1 or run-of-bank rock 2 may be placed in the triangles of the dam, or the triangles of the dam may be constructed from run-of-bank rock 2, and the "dry" deposit is done with run-of-bank material 1, which would considerably strengthen the embankment of the dam.

e) The "zone of permissible composition of the material of rock fill" may be designated within the limits between the curves of the granulometric composition of soil 1 and the run-of-bank rock 2 (zone 2), Fig. 17.

Note. Coarser rock material may be placed in the embankment of the dam outside the limits of the contact zone (Fig. 14).

#### BIBLIOGRAPHY

1. "Instruktsiya po proyektirovaniyu obratnykh fil'trov gidrotekhnicheskikh sooruzheniy" [Instructions for Planning the Reverse Filters of Hydraulic Engineering Structures], VSN 02-65, Energiya, 1965 (compiled by A.N. Patrashev, and G.Kh. Pravednyy).
2. Pravednyy, G.Kh. "Problems of Planning the Granulometric Composition of Transitional Zones, Ensuring Seepage Strength of the Slopes of the Cores (Facings) of High Dams Made of Local Materials," 1964 (Biblioteka VNIIG--manuscript).
3. Pravednyy, G.Kh. "Proyektirovaniye obratnykh fil'trov, zashchishchayushchikh svyaznyye grunty" [Planning the Reverse Filters Protecting Cohesive Soils], "Trudy koordinatsionnykh soveshchaniy po gidrotekhnike" [Works of the Coordination Conferences on Hydraulic Engineering], No 10, Energiya, 1964.
4. Istomina, V.S. "Fil'tratsionnaya ustoychivost' gruntov" [The Seepage Strength of Soils], Gosstroyizdat, 1957.
5. "Stroitel'nyye normy i pravila " [Construction Norms and Regulations] (SNiP), part 2, sect. I; chapters 4-62 and 6-62. Gosstroyizdat, 1964.
6. Patrashev, A.N.; Pravednyy, G.Kh.; and Pavchich, M. "A Study of the Mechanical and Chemical Piping in Sand-Gravel Soils and Rock," part 1, 1958, part 2, 1960 (Biblioteka VNIIG--manuscript).
7. Patrashev, A.N., and Pravednyy, G.Kh. "Opredeleniye raschetnykh razmerov chastits nesvyaznykh gruntov pri proyektirovanii obratnykh fil'trov" [Determining the Estimated Sizes of the Particles of Non-cohesive Soils When Planning Reverse Filters], "Trudy koordinatsionnykh soveshchaniy po gidrotekhnike, No 21, Energiya, 1965.
8. Patrashev, A.N. and Pravednyy, G. Kh. "Proyekt instruktsii po proyektirovaniyu obratnykh fil'trov gidrotekhnicheskikh sooruzheniy" [Draft of the Instructions for Planning Reverse Filters for Hydraulic Engineering Structures], Gosenergoizdat, 1963.

9. Pavchich, M. "A Method of Determining Nonpiping Granulometric Compositions of Soil," IZVESTIYA VNIIG, Vol 68, Gosenergoizdat, 1961.
10. Pravednyy, G.Kh. "Developing a Method of Selecting the Reverse Filters for Cohesive Soils," 1962 (Biblioteka VNIIG--manuscript).
11. Pravednyy, G.Kh. "Issledovaniya po proyektirovaniyu i podboru granulometricheskogo sostava fil'trov perekhodnykh zon vysokikh plotin" [Studies in Planning and Selecting the Granulometric Composition of the Filters of the Transitional Zones of High Dams], Energiya, 1966.
12. Pravednyy, G.Kh. "Underwater Fill of Impervious Facings," IZVESTIYA VNIIG, Vol 62, Gosenergoizdat, 1959.
13. Yevdokimov, P.D., and Volodenkov, P.I. "Studying the Problems of Estimating the State of Stress and Deformation of Clay Cores of High Dams in Consideration of the Distribution of the Pore Pressure, Based on a Model of the Soil as an Elastic-Creeping Medium," 1964 (Biblioteka VNIIG--manuscript).
14. Moiseyev, S.N. "Plotiny kamenno-zemlyanyye, nabrosnyye i iz sukhoy kladki" [Earth and Rockfill Dams and Dams Made of Placed Rockfill], Gosenergoizdat, 1962.
15. Lofitskiy, V.N. "Formulating Methods of Constructing Rockfill Dams and a Summary of the Results of Studies of Work Done by Economic Agreement," 1964 (Biblioteka VNIIG--manuscript).
16. Lofitskiy, V.N. "Ukazaniya po vozvedeniyu vysokikh plotin iz mestnykh materialov" [Directives on Constructing High Dams Made of Local Materials], VSN 021-69, Energiya, 1970.
17. Pravednyy, G.Kh. "Vremennyye ukazaniya po proyektirovaniyu i podboru granulometricheskogo sostava fil'trov perekhodnykh zon, zashchishchayushchikh svyaznyye (glinistyye) grunty, yader (ekranov) vysokikh i sverkhvysokikh plotin iz mestnykh materialov" [Provisional Directives for Planning and Selecting the Granulometric Composition of the Filters of Transitional Zones Protecting Cohesive (Clay) Soils, Cores (Facings) of High and Superhigh Dams Made of Local Materials], VSN 01-66, Energiya, 1967.
18. Pravednyy, G.Kh. "The Problem of Planning the Transitional Zones of Earth Dams," GIDROTEKHNIЧЕСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО, No 8, 1970.
19. Pravednyy, G.Kh. "Ukazaniya po proyektirovaniyu protivofil'tratsionnykh ustroystv podzemnogo kontura betonnykh plotin na skal'nykh osnovaniyakh s treshchinami tektonicheskogo proiskhozhdeniya" [Directives for Planning Impervious Devices for the Underground Contour of Concrete Dams on Rock Foundations With Cracks of Tectonic Origin], VSN 01-70, Energiya, 1970.

DIRECTIVES FOR PLANNING TRANSITIONAL ZONES  
OF EARTH FILL DAMS

Dubrovskiy & Setko

МИНИСТЕРСТВО ЭНЕРГЕТИКИ И ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ СССР

ГЛАВНИИПРОЕКТ

ВСЕСОЮЗНЫЙ

НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ГИДРОТЕХНИКИ

ИМЕНИ Б. Е. ВЕДЕНЕВА

УКАЗАНИЯ  
ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ ПЕРЕХОДНЫХ ЗОН  
КАМЕННО-ЗЕМЛЯНЫХ ПЛОТИН

ВСН 47-71

Минэнерго СССР

Property of the United States Government



LIBRARY BRANCH  
TECHNICAL INFORMATION CENTER  
U.S. ARMY ENGINEER WATERWAYS EXPERIMENT STATION  
YICKSBURG, MISSISSIPPI

МИНИСТЕРСТВО ЭНЕРГЕТИКИ И ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ СССР  
ГЛАВНИИПРОЕКТ  
ВСЕСОЮЗНЫЙ  
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ГИДРОТЕХНИКИ  
имени Б. Е. ВЕДЕНЕЕВА

УКАЗАНИЯ  
ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ ПЕРЕХОДНЫХ ЗОН  
КАМЕННО-ЗЕМЛЯНЫХ ПЛОТИН

ВСН 47-71  
Минэнерго СССР

*Глубокоуважаемому  
Ивану Евгеньевичу Дубровскому  
от автора*

*в знак искренней благодарности  
за труд по редактированию данного издания*

*Т. Я. Яковлев*

*Ленинград-КНУИИ  
20 января 1972 года*



ЭНЕРГИЯ  
Ленинградское отделение  
1971

УДК 624.131.67  
У 41

Указания по проектированию переходных зон каменно-земляных плотин

«Энергия», Ленинградское отделение, 1971 г., стр. 52 с рис.

Научный редактор Н. Е. Дубровский

Редактор Л. Г. Сетко

Сдано в производство 1/IX 1971 г. Подписано к печати 18/XI 1971 г.  
М-55643. Печ. л. 3,25. Уч.-изд. ч. 5,44. Бум. л. 1,63. Формат 60×90<sup>1/16</sup>.  
Тираж 1200. Заказ 334. Цена 53 коп.

Типография Всесоюзного научно-исследовательского института гидротехники  
им. Б. Е. Веденеева, Ленинград, К-230, Гжатская ул. д. 21.

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящие «Указания по проектированию переходных зон каменно-земляных плотин» разработаны и составлены по заданию Главинипроекта Министерства энергетики и электрификации СССР в Лаборатории земляных гидросооружений Всесоюзного научно-исследовательского института гидротехники (ВНИИГ) им. Б. Е. Веденеева ст. научн. сотр., канд. техн. наук. Г. Х. Праведным.

Строительство высоких и сверхвысоких земляных плотин в нашей стране является важной государственной проблемой, которая выдвигает ряд сложных технических задач, требующих качественно новых и более совершенных методов их решения, в том числе прочности и устойчивости водоупорных противофильтрационных элементов плотин (ядер, экранов, понуров и др.).

В практике гидротехнического строительства постоянно возникает вопрос о защите глинистых ядер, экранов, понуров, верховых откосов плотин при сопряжении их с крупнозернистым материалом.

Как известно, от правильно запроектированного или подобранного гранулометрического состава материала, защищающего связный (глинистый) грунт, зависят прочность и устойчивость сооружения, долговечность, а также экономика его возведения.

Учитывая запросы гидротехнического строительства, ВНИИГом, на основании результатов многолетних широко поставленных опытных и теоретических исследований по изучению физических и фильтрационно-суффозионных свойств, как связных (глинистых), так и несвязных песчано-гравелистых грунтов (см. литературу) с учетом разработок по этому вопросу других научно-исследовательских организаций (ВНИИ ВОДГЕО, НИСа Гидропроекта и др.) и опыта проектирования и строительства гидротехнических сооружений, разработаны научно-обоснованные указания по методике проектирования и подбора гранулометрического состава материала переходных зон, защищающих связные (глинистые) грунты, ядер (экранов), как для высоких и сверхвысоких плотин из местных материалов, так и для плотин I—IV класса по капитальности.

Данными «Указаниями» предусматривается максимальное использование для устройства переходных зон естественных карьерных разнородных грунтов без их дорогостоящей переработки, что, в свою очередь, позволяет отказать от многослойных дорогостоящих переходных зон.

Кроме того, при разработке методики проектирования и подбора гранулометрического состава материала переходных зон высоких и сверхвысоких плотин были учтены их специфические особенности, как-то: неравномерность, величина и разность в осадках (деформациях) элементов высоких плотин, возможность образования трещин в ядре (экране) плотины и необходимые условия самозалечиваемости таких трещин, мощная толщина слоев переходных зон, большие потребности в материалах для их устройства и большие объемы работ, при которых должны обеспечиваться прочность, надежность, долговечность и экономичность их возведения.

Основные разработки по методике проектирования и подбора материала переходных зон для связных грунтов были доложены IV Всесоюзному координационному совещанию по фильтрации, одобрены и опубликованы в «Трудах координационных совещаний по гидротехнике», вып. IX, «Энергия», 1964.

В начале 1966 г. отдельным изданием была опубликована книга «Проектирование и подбор гранулометрического состава фильтров переходных зон

высоких плотин», «Энергия», 1966, где изложен теоретический и экспериментальный материал многолетних исследований, который является обоснованием для данных «Указаний».

В конце 1966 г. были выпущены в свет для практических целей «Временные Указания по проектированию и подбору гранулометрического состава фильтров переходных зон, защищающих связные (глинистые) грунты, ядер (экранов) высоких и сверхвысоких плотин из местных материалов», которые Решением № 447 Главтехстройпроекта Минэнерго СССР от 19 ноября 1966 г. утверждены и введены в действие в системе Минэнерго СССР с 1 января 1967 г.

В 1969 г., во исполнение распоряжения Главинипроекта Минэнерго СССР о выпуске в 1971 г. постоянно действующих «Указаний», действующие «Временные Указания» были разосланы на отзывы в 78 научно-исследовательских, проектных и строительных организаций, а также отдельным специалистам.

По полученным отзывам, с учетом критических замечаний и практических рекомендаций, а также с учетом результатов дополнительных новейших научных проработок по данному вопросу, «Временные Указания» были переработаны на высоком научном уровне и подготовлены, в новой редакции, к утверждению в Главинипроекте Минэнерго СССР в качестве постоянно действующих «Указаний».

Настоящие «Указания» в данной редакции 29 июня 1971 г. рассмотрены в комиссии Ученого Совета ВНИИГа, одобрены и рекомендованы к утверждению их в качестве постоянно действующих «Указаний», взамен

ВСН 01-66  
«Временных Указаний», МЭиЭ СССР.

«Указания по проектированию переходных зон каменно-земляных плотин» утверждены Решением № 279 Главинипроекта Минэнерго СССР от 26 июля 1971 г. и вводятся в действие как обязательные для всех проектных и строительных организаций системы Минэнерго СССР для применения при проектировании и строительстве гидротехнических сооружений с 1 января 1972 г., под

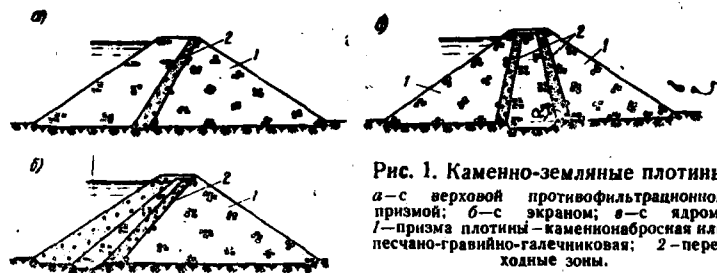
ВСН 47-71.  
№ Минэнерго СССР Минэнерго-СССР.



МИНИСТЕРСТВО ЭНЕРГЕТИКИ И ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ СССР	ВЕДОМСТВЕННЫЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ НОРМЫ	ВСН 47-71
	Указания по проектированию переходных зон каменно-земляных плотин	Взамен ВСН 01-66 МЭиЭ СССР

## Глава I. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

**§ 1. Область применения.** 1. Настоящие «Указания» предназначены для проектирования и подбора (из естественных карьерных или искусственно получаемых материалов) гранулометрического состава грунтов переходных зон, сопрягающих связные (глинистые) грунты ядер и экранов с крупнозернистым материалом призм высоких и сверхвысоких плотин (вне классовых), I класса, а также для плотин II—IV класса по капитальности, которые воз-



водятся с противофильтрационными устройствами по типу, указанному на рис. 1, как насыпные из песчано-гравийно-галечниковых грунтов, так и каменнонабросные.

Для земляных и каменно-земляных плотин II—IV класса по капитальности и временных сооружений могут приниматься пониженные требования (§ 7, примечание; § 13, Б).

2. В тех случаях, когда расчетные характеристики карьерных материалов или искусственно получаемых грунтов (на каменнотермических или сортировочных заводах), предназначенных для обратных фильтров переходных зон, выходят за пределы рекомендаций, предусмотренных настоящими Указаниями, следует запроектированный или подобранный гранулометрический состав фильтров проверить экспериментальным путем в лаборатории (или на площадке строительства).

3. Проектирование и подбор гранулометрического состава фильтров переходных зон, защищающих несвязные (супесчаные) грунты, из которых возводятся противофильтрационные устройства, производится так же, как и для несвязных грунтов, согласно «Инструкции по проектированию обратных фильтров гидротехнических сооружений», ВСН 02-65.

**Примечание.** Конструкция и размеры ядра или экрана из суглинистых грунтов устанавливаются проектом в зависимости от типа плотины, условий производства работ, наличия пригодных суглинистых материалов, климатических условий и пр., согласно СНиП II-И. 4—71.

Внесены Всесоюзным научно-исследовательским институтом гидротехники имени Б. Е. Веленеева	Утверждены Главинпроектом Минэнерго СССР 26 июля 1971 г.	Срок введения 1 января 1972 г.
--	---	---

§ 2. Принятые термины и обозначения. Настоящие «Указания» рекомендуют придерживаться следующих терминов и буквенных обозначений.

#### Основные термины

Переходная зона — переходный слой (слои) материала между грунтовым ядром (экраном) и призмами плотины. Причем слой, примыкающий к ядру (экрану) должен быть запроектирован (подобран) такого гранулометрического состава, чтобы была обеспечена фильтрационная прочность ядра (экрана) плотины. При сопряжении с призмами плотины материал переходной зоны не должен просыпаться в материал призмы плотины.

Обратный фильтр — слой песчано-гравийно-галечниковых или щебеночных грунтов, предохраняющие грунты земляных сооружений и нескальные грунты оснований сооружений от механической суффозии, а в отдельных случаях также от выпора.

Скелет грунта — совокупность частиц его, воспринимающих и передающих действие внешних сил и обеспечивающих прочность и устойчивость грунта.

Заполнитель грунта — частицы, располагающиеся в порах скелета грунта.

Суффозия — отрыв и перемещение фильтрационным потоком внутри грунта мелких частиц или их вынос, или растворение содержащихся в грунте водорастворимых солей, или их вымыв, в результате чего возможно нарушение его прочности и устойчивости. Различают следующие виды суффозии: механическую и химическую. В настоящих Указаниях рассматривается только механическая суффозия.

Механическая суффозия — отрыв и перемещение внутри грунта и вынос мелких частиц из его толщи вследствие воздействия фильтрационного потока.

Внутренняя механическая суффозия — перемещение фильтрационным потоком внутри грунта мелких его частиц.

Внешняя механическая суффозия — вынос фильтрационным потоком мелких частиц из грунта.

Опасная механическая суффозия — отрыв, перемещение и вынос фильтрационным потоком мелких частиц и частиц скелета грунта в таком количестве, при котором нарушается прочность и устойчивость его.

Кольматаж — отложение в порах грунта мелких частиц, несомых фильтрационным потоком.

Суффозионный грунт — грунт, в котором может происходить и развиваться механическая суффозия при скоростях фильтрации, превышающих критические.

Несуффозионный грунт — грунт, в котором механическая суффозия невозможна.

Практически несуффозионный грунт — грунт, из которого могут быть вынесены (по геометрическому критерию) фильтрационным потоком самые мелкие незащеленные его частицы в количестве не более 3—5% по весу, от выноса которых прочность и устойчивость грунта не нарушается.

Фильтрационная прочность грунта — способность грунта сопротивляться возникновению фильтрационных деформаций.

Фильтрационные деформации грунта — деформации, образующиеся при нарушении фильтрационной прочности грунта (в результате механической суффозии, кольматажа, фильтрационного выпора или уплотнения, контактного размыва).

Просыпание грунта в фильтр — перемещение мелких фракций из контактирующего грунта в слой фильтра (или грунта I слоя во второй, или в каменную наброску) под действием силы тяжести.

Вдавливание фильтра в грунт — внедрение фракций фильтра в контактирующий грунт, происходящее под действием силы тяжести и внешней нагрузки.

Контактная область грунтов — область, включающая границу двух смежных, различных по своему гранулометрическому составу грунтов, определяемая глубиной возможного проникновения частиц одного грунта в другой.

Расслаивание грунта — отделение крупных частиц от мелких, происходящее при транспортировке, отгрузке и отсыпке грунта.

Выпор — отрыв и одновременное перемещение целого объема грунта восходящим фильтрационным потоком.

Отслаивание грунта — отрыв агрегатов частиц связного (глинистого) грунта в зоне контакта (в порах) с крупнозернистым грунтом или грунтом обратного фильтра.

Допустимое отслаивание — отрыв агрегатов частиц связного грунта в зоне контакта с грунтом обратного фильтра (в порах) на глубину равную или меньше половины диаметра пор грунта фильтра с образованием устойчивых сводиков (без размыва контакта).

Опасное недопустимое отслаивание — отрыв агрегатов частиц связного грунта в зоне контакта с грунтом обратного фильтра (в порах) на глубину большую половины диаметра пор грунта фильтра с возможным возникновением деформаций связного грунта.

Контактный размыв — размыв мелкозернистого или связного (глинистого) грунта на контакте с крупнозернистым грунтом (фильтром) под действием продольной фильтрации.

#### Буквенные обозначения

- $D$  — диаметр частиц грунта обратного фильтра;
- $D_0$  — средний диаметр фильтрационных пор в слое фильтра;
- $D_{\max}$  — максимальный диаметр фильтрационных пор в слое фильтра;
- $D_{\text{расч}}$  — расчетный диаметр фильтрационных пор грунта фильтра;
- $D_{10}, \dots, D_{17}, \dots, D_{60}$  — диаметры частиц грунта обратного фильтра;
- $\eta; \eta_p; \eta_\phi = \frac{D_{60}}{D_{10}}$  — коэффициент разнотонности грунта и грунта обратного фильтра;
- $n; n_\phi$  — пористость грунта и грунта обратного фильтра (в долях единицы);
- $K_r; K_\phi$  — коэффициент фильтрации грунта и грунта обратного фильтра;
- $\varphi_1$  — коэффициент, учитывающий форму и шероховатость частиц грунта;
- $d$  — диаметр частиц грунта, защищаемого обратным фильтром;
- $d_{\text{сг}}$  — диаметр сводообразующих частиц грунта;
- $d_{\text{сф}}$  — диаметр (суффозионных) частиц грунта, выносимых фильтрационным потоком;
- $d_k$  — диаметр (кольматирующих) частиц грунта, при которых начинается кольматация фильтра (или грунта);
- $d_{10}, \dots, d_{17}, \dots, d_{60}$  — диаметры частиц грунта;
- $i_{\text{кр}}; v_{\text{кр}}$  — критические градиент напора и скорость фильтрации, при которых наступает механическая суффозия или размыв грунта;
- $\varphi_0$  — коэффициент критической скорости;
- $f_*$  — приведенный коэффициент трения;
- $i_{\text{доп}}; v_{\text{доп}}$  — допустимые градиент напора и скорость фильтрации, равные критическим (уменьшенным) с учетом коэффициента запаса;

$I_p$  — расчетный градиент напора, определяемый фильтрационными расчетами или методом ЭГДА;  
 $\theta$  — угол между направлениями скорости фильтрации и силы тяжести;  
 $\alpha$  — коэффициент неравномерности раскладки частиц грунта (фильтра), или коэффициент локальности суффозии;  
 $\gamma_{ск}$  — объемный вес сухого грунта;  
 $\Delta$  — удельный вес частиц грунта;  
 $\gamma_w$  — объемный вес воды;  
 $\gamma$  — коэффициент кинематической вязкости воды;  
 $W$  — влажность грунта;  
 $W_m$  — максимальная молекулярная влагоемкость связного (глинистого) грунта ядра (экрана) плотины от явлений фильтрационных деформаций (отслаивания) и механической суффозии, контактного размыва, обеспечения залечиваемости трещин в ядре плотины в случае возможного их образования, а также для обеспечения надежного сопряжения ядра (экрана) с призмами плотины или пригрузкой с верховой стороны экрана;  
 $W_t$  — граница текучести грунта;  
 $W_p$  — граница раскатывания грунта;  
 $W_{pl}$  — число пластичности грунта;  
 $G$  — коэффициент водонасыщения (влажности) грунта;  
 $e_t$  — коэффициент пористости на границе текучести грунта;  
 $g$  — ускорение силы тяжести;  
 $H$  — напор;  
 $T$  — толщина слоя фильтра.

**§ 3. Назначение переходных зон.** Переходные зоны — переходные промежуточные слои грунта, сопрягающие суглинистый (связный) материал ядра или экрана с крупнозернистым материалом призм плотины (галечником или каменной наброской).

Основным назначением переходных зон является защита связного (глинистого) грунта ядра (экрана) плотины от явлений фильтрационных деформаций (отслаивания) и механической суффозии, контактного размыва, обеспечения залечиваемости трещин в ядре плотины в случае возможного их образования, а также для обеспечения надежного сопряжения ядра (экрана) с призмами плотины или пригрузкой с верховой стороны экрана.

**§ 4. Задачи проектирования гранулометрического состава фильтров переходных зон.** В задачи проектирования гранулометрического состава фильтров переходных зон плотины входят решения следующих основных вопросов:

1. Установление степени связности грунта ядра (экрана) плотины и его расчетных параметров (гранулометрического состава, объемного веса, пористости, числа пластичности, коэффициента водонасыщения и др.), характеризующих его как связный (глинистый) грунт, удовлетворяющий всем требованиям, предъявляемым к такой категории грунта, подбор состава фильтров к которым производится по методике для связных грунтов.

2. Определение гидродинамических условий фильтрационного потока в контактных зонах (расчетных градиентов напора в ядре, экране по выходе в первый слой фильтра и по контактам), определяемых или фильтрационными расчетами, или методами ЭГДА, или другими экспериментальными и графическими методами.

3. Проектирование гранулометрического состава первого слоя фильтра (при отсутствии данных о карьерных или искусственно получаемых грунтах) по условию недопущения деформаций отслаивания агрегатов частиц связного грунта ядра (экрана) плотины на контакте с первым слоем фильтра и последующих слоев (если требуется) по условию «непросыпаемости» и фильтрационной прочности и устойчивости контактов.

4. Выбор карьерных или искусственно получаемых грунтов (при наличии карьеров или продукции камнедробильных заводов), которые могут быть использованы для устройства переходных зон с учетом технической и экономической целесообразности их использования. В тех случаях, когда поблизости от возводимого сооружения есть несколько карьеров для устройства переходных зон, следует при выборе одного из них или нескольких руководствоваться соображениями наименьшей стоимости работ при их использовании в дело (местоположение, транспортировка, условия разработки и пр.).

5. Проверка запроектированного или подобранного гранулометрического состава грунтов переходных зон на фильтрационную прочность и устойчивость контактов, на условие недопущения деформаций отслаивания агрегатов частиц связного грунта, его размыва на контакте с первым слоем фильтра и размыва контактов последующих слоев при контактной фильтрации (вдоль слоев), а также опасной механической суффозии в самих слоях переходной зоны (в дополнение к указанному в п. 3 и 4).

6. Проверка запроектированного или подобранного гранулометрического состава первого слоя фильтра переходной зоны на условие самозалечиваемости продольных трещин ядра плотины в случаях, если установлена возможность их образования.

7. Установление толщины и числа слоев переходной зоны не только с учетом производства работ, но и с учетом расслоения по высоте материала призм плотины при их возведении, а также с учетом возможных горизонтальных деформаций сооружения.

8. Установление допустимых пределов возможных отступлений в гранулометрическом составе, толщине слоев, пористости (или объемном весе) грунтов фильтров переходных зон.

9. Проверка экспериментально в лабораторных условиях или на опытном участке на площадке строительства запроектированного состава материала переходных зон в случаях, когда расчетные характеристики карьерных грунтов или грунтов, получаемых на камнедробильных заводах, предназначенных для переходных зон, выходят за пределы рекомендаций, предусмотренных настоящими Указаниями. Для этой цели, в зависимости от задач экспериментальной проверки, должна быть разработана программа и методика экспериментальных исследований.

**§ 5. Материал для переходных зон.** Для устройства фильтров переходных зон должны применяться лишь невязные естественные или искусственно получаемые грунты из твердых и плотных каменных пород, не содержащих водорастворимых солей. К таким грунтам относятся: песчаные, гравийно-галечниковые грунты, щебень, щебеночные отходы камнедробильных заводов.

Естественные или искусственно получаемые пески должны состоять из твердых и плотных пород: полевого шпата, кварца или их смеси.

Гравий, галечник и щебеночные грунты должны происходить из твердых, плотных, морозостойких пород, не поддающихся выветриванию и выщелачиванию.

Предел прочности каменных пород при сжатии для устройства переходных зон плотин должен соответствовать прочности основного тела плотины, но не менее  $300-400 \text{ кг/см}^2$ . При испытании на морозостойкость они должны выдерживать не менее 50 циклов замораживания и оттаивания при температуре  $\pm 17^\circ \text{C}$ , при этом потеря в весе не должна превышать 5%.

**§ 6. Исходные данные для проектирования.** При проектировании фильтров переходных зон должны быть известны следующие исходные данные:

1) принятый в проекте тип и конструкция поперечного профиля плотины с противофильтрационными устройствами и способ ее возведения (возводимые послойной отсыпкой с уплотнением, отсыпкой пионерным способом на большую высоту, смешанным способом, насухо, с водой и пр.);

2) данные о материале ядра, экрана плотины: гранулометрический состав, объемный вес, удельный вес, пористость, пределы и число пластичности, коэффициент водонасыщения и пр., их расчетные характеристики, принятые в проекте;

3) данные о возможных горизонтальных смещениях ядра или призм плотины и данные о возможном образовании отдельных (продольных) трещин в ядре (экране) плотины;

4) данные о материале призм плотины (песчано-галечниковые, из каменной наброски и пр.) и его физические характеристики: гранулометрический состав, объемный вес, удельный вес, пористость и др.;

5) данные о наличии и запасах местных материалов (карьеров), предназначенных для устройства переходных зон, данные об условиях их добычи

и транспортировки, а также их физические характеристики, указанные в п. 4 настоящего параграфа;

б) расчетные значения градиентов напора фильтрационного потока, принятые в проекте на основании фильтрационных расчетов или по методу ЭГДА: максимальный расчетный градиент напора ( $I_p^{max}$ ) при высачивании фильтрационного потока на низовой откос ядра (экрана) плотины по контакту ядра и первого слоя фильтра и др.

## Глава II. ОСНОВНЫЕ РАСЧЕТНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА МАТЕРИАЛА ПЕРЕХОДНЫХ ЗОН

§ 7. Общие указания. 1. Для устройства переходных зон должны применяться лишь несвязные естественные или искусственно получаемые грунты из твердых и плотных каменных пород, не содержащих водорастворимых солей (гл. I, § 5).

Гранулометрический состав материала переходных зон может быть запроектирован или подобран как несuffозионным, так и suffозионным.

Однако фильтры переходных зон suffозионного состава должны быть проверены на фильтрационно-suffозионную прочность, т. е. чтобы для данных гидродинамических условий их работы в фильтровом материале не возникало опасной механической suffозии и не нарушалась бы его фильтрационная прочность.

2. Приведенные ниже рекомендации по проектированию и подбору гранулометрического состава первого слоя фильтра переходных зон распространяются на фильтры переходных зон, защищающие связные (глинистые) дренируемые грунты.

Связные грунты (суглинки и глины) можно характеризовать содержанием в их составе глинистых частиц размером  $d < 0,005$  мм:

Суглинки . . . . .	10—30%
Глины . . . . .	более 30%
и числом пластичности $W_p$ :	
суглинки . . . . .	$7 \leq W_p \leq 17$
глины . . . . .	$W_p > 17$

3. В данных Указаниях проектирование и подбор гранулометрического состава первого слоя фильтра переходных зон рекомендуется для связных грунтов (нарушенной структуры) с числом пластичности  $W_p \geq 7$  при колебании влажности в интервале пластичности, т. е. при  $W_T \geq W \geq W_p$ , где  $W_T$  — граница текучести, а  $W_p$  — граница раскатывания грунта.

При этом глинистый грунт должен иметь молекулярное сцепление, которое может быть выражено через величину объемного веса сухого (скелета) грунта [4].

Объемный вес сухого (скелета) защищаемого связного грунта при его укладке должен быть

$$\gamma_{ск} > \gamma'_{ск} = \frac{\Delta}{1 + e_T} \quad (1)$$

где  $\Delta$  — удельный вес частиц грунта в г/см<sup>3</sup>;  $e_T$  — коэффициент пористости при  $W_T$ ;

$$e_T = \frac{\Delta W_T}{100 \gamma_n} \quad (2)$$

где  $\gamma_n$  — объемный вес воды  $\approx 1$  г/см<sup>3</sup>.

4. Приведенные ниже рекомендации по методике проектирования и подбора гранулометрического состава первого слоя фильтра переходных зон, защищающих связные (глинистые) грунты предусматривают для высоких и

сверхвысоких плотин (вне классных) и I класса по капитальности — условие недопущения отрыва или отслаивания агрегатов частиц связного грунта на контакте с грунтом первого слоя фильтра.

5. Проектирование или подбор гранулометрического состава первого слоя фильтра переходных зон к грунтам с числом пластичности  $W_p < 7$  производится так же, как и для несвязных грунтов согласно [1], или окончательное решение принимается после проведения специальных опытных исследований в соответствии с конкретными условиями.

Примечание. Для плотин II—IV класса по капитальности и временных сооружений возможно допускать небольшое отслаивание (не влияющие на прочность) глинистого грунта на контакте с первым слоем фильтра (в порах) на величину  $\Delta S = \frac{D_{0\text{ макс}}}{2}$ . При этом максимальный размер пор грунта первого слоя фильтра должен быть  $D_{0\text{ макс}} \leq 1,5$  см, а глинистый грунт ядра (экрана) должен иметь число пластичности  $W_p > 7$  (и  $W_p > 5$  для временных сооружений).

§ 8. Оценка суффозионности (несуффозионности) грунтов, определение максимального размера выносимых частиц и максимально возможного процента выноса (по геометрическому критерию). Приступая к подбору состава переходных зон, прежде всего необходимо определить, к какой категории относятся карьерные или искусственно получаемые грунты, являются ли эти грунты суффозионными или несуффозионными.

Для решения этого вопроса рекомендуется два способа; первый способ характеризует несуффозионность грунта, когда из его толщи при любых скоростях фильтрации не будет происходить выноса самых мелких частиц.

Второй способ характеризует грунт как практически несуффозионный, из которого допускается незначительный вынос мельчайших незатемненных его частиц, но без нарушения его прочности.

Первый способ. По заданным параметрам исследуемого грунта определяется диаметр максимальных фильтрационных пор в грунте  $D_{0\text{ макс}}$  по следующей зависимости:

$$D_{0\text{ макс}} = 0,455 \sqrt[4]{\eta_{\text{ф}}} \frac{n_{\text{ф}}}{1 - n_{\text{ф}}} D_{17} \quad (3)$$

где  $\chi$  — коэффициент неравномерности раскладки частиц в грунте или коэффициент локальности суффозии:

$$\chi = 1 + 0,05 \eta_{\text{ф}} \quad (4)$$

$\eta_{\text{ф}} = \frac{D_{60}}{D_{10}}$  — коэффициент разнотерности грунта;  $n_{\text{ф}}$  — пористость (в долях единицы);  $D_{17}$  — диаметр частиц, которых содержится в грунте 17% и меньше (по весу).

Далее, по кривой гранулометрического состава данного грунта находим минимальный диаметр его частиц  $D_{\text{мин}}$ .

Если окажется, что

$$0,77 D_{0\text{ макс}} > D_{\text{мин}} \quad (5)$$

то грунт следует считать суффозионным; из такого грунта могут выноситься все частицы, крупность которых меньше или равна

$$D_{\text{с1 макс}} < 0,77 D_{0\text{ макс}} \quad (6)$$

где  $D_{\text{с1 макс}}$  — максимальный диаметр суффозионных частиц, которые могут быть вынесены из толщи грунта при соответствующих скоростях фильтрации (больших критической —  $v_{\text{кр}}$ ).

Если же окажется, что

$$0,77 D_{0\text{ макс}} < D_{\text{мин}} \quad (7)$$

то грунт следует считать несuffозионным. Из такого грунта не могут выноситься и самые мелкие его частицы.

Максимально возможный процент выноса suffозионных частиц из грунта (по геометрическому критерию) определяется из зависимости (6) по  $D_{ci}^{max}$ .

Зная  $D_{ci}^{max}$ , по кривой гранулометрического состава определяем искомый максимальный процент выноса.

Второй способ. Практика показывает, что если из грунта будут выноситься самые мелкие незащеленные его частицы в количестве не более 3—5% по весу, то прочность грунта не нарушится. Следовательно, практически несuffозионным грунтом можно считать такой грунт, из которого могут быть вынесены фильтрационным потоком мельчайшие его частицы в количестве не более 3% (5%) по весу.

Карьерный или искусственно получаемый грунт, предназначенный для фильтров переходных зон, следует считать (по геометрическому критерию) практически несuffозионным, если его параметры удовлетворяют следующей зависимости:

$$\frac{D_3}{D_{15}} \geq N, \quad (8)$$

где  $N = (0,32 + 0,016\eta_{\phi}) \frac{n_{\phi}}{1-n_{\phi}}$ .

Если зависимость (8) не удовлетворяется, грунт следует считать suffозионным.

Примечание. Приведенные в § 8 способы определения suffозионности (несuffозионности) грунтов распространяются не только на грунты обратных фильтров, но и на все естественные карьерные, искусственно получаемые, нарушенной и ненарушенной структуры несвязные грунты.

§ 9. Допускаемая степень разнозернистости грунтов для устройства переходных зон. Многолетние лабораторные и натурные исследования по изучению степени неравномерности раскладки частиц грунта и его расслаиваемости, наблюдения за производством работ по укладке материала фильтров [2], а также большая толщина слоев переходных зон при их устройстве позволяют обоснованно рекомендовать применять грунты с высокой степенью разнозернистости. Это дает возможность использовать для фильтров переходных зон естественные карьерные грунты без их дополнительной дорогостоящей переработки — отсева крупных и отмыва мелких фракций, обогащения, дробления и т. д. как это делается для тонкослойных фильтров, чтобы получить однородный материал.

1. Коэффициент разнозернистости грунтов первого и последующих слоев переходных зон для высоких и сверхвысоких плотин (внеклассных) и I класса по капитальности, защищающих связные грунты следует назначать [2]:

$$\eta_{\phi}^{доп} = \frac{D_{60}}{D_{10}} \leq 50. \quad (9)$$

Как показывает практика, укладка грунта с  $\eta_{\phi} \leq 50$ , при возведении толстослойных фильтров, послойно с разравниванием и уплотнением его при некоторой влажности (до 5%) обеспечивается его однородность по слою.

2. Для первого слоя фильтра переходной зоны, защищающего связный грунт коэффициент разнозернистости может быть принят  $\eta_{\phi} > 50$  при надлежащем обосновании:

а) наличия в его составе песчаных фракций  $d = 0,05-2$  мм не менее 20—25%;



б) расчетный диаметр пор грунта (с  $\eta_{\phi} > 50$ ) при самой его невыгодной раскладке должен быть больше действительного максимального, т. е.  $D_{\phi}^{расч} > (1,25 - 1,50) D_{\phi}^{макс}$ .

в) гранулометрический состав грунта с  $\eta_{\phi} > 50$  должен удовлетворять критерию кольматируемости и самозалечиваемости трещин в ядре (экране) плотины (что создает запас в прочности);

г) вынос мелких суффозионных фракций  $d_{cl}$  из данного состава грунта (с  $\eta_{\phi} > 50$ ), при контактной фильтрации и данных конкретных гидродинамических условиях, должен быть меньше  $D_5^I$ , т. е.  $d_{cl} < D_5^I$  (с некоторым запасом по сравнению с зависимостью (29) — «критерием выноса»);

д) данный состав грунта с  $\eta_{\phi} > 50$  должен удовлетворять критерию (20), т. е. условию недопущения размыва связного грунта при продольной контактной фильтрации.

Если указанные выше условия не удовлетворяются, пригодность данного состава грунта может быть проверена экспериментально.

§ 10. Толщина первого слоя фильтра переходной зоны. а) Противофильтрационные устройства (ядра, экраны) и упорные призмы высоких пло-

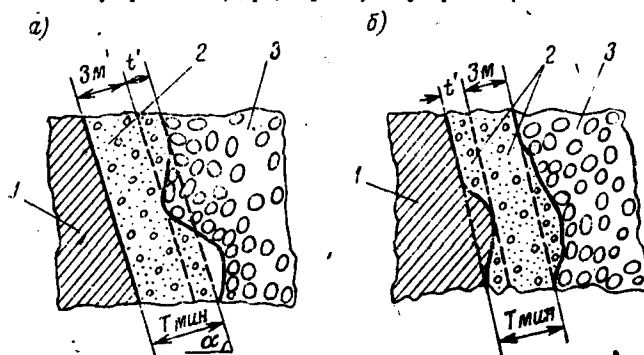


Рис. 2. Схема переходной зоны

1 — ядро плотины; 2 — переходная зона (фильтр); 3 — призма плотины;  
 $t'$  — горизонтальные смещения призмы или ядра плотины.

тин претерпевают разные по величине и направлению деформации, при которых возможны значительные смещения призмы плотины в сторону ядра или наоборот. В таких случаях может произойти разрыв первого слоя фильтра переходной зоны, если толщина его будет незначительной, например, равной  $t'$  (рис. 2). Следовательно, возведение первого слоя фильтра переходной зоны тонкослойным для высоких плотин допускать нельзя.

При возведении первого слоя фильтра переходной зоны значительной толщины будут исключены нежелательные явления разрыва слоев при неравномерных и разных осадках элементов плотины, а также при сейсмических воздействиях на плотину. При этом возможность разрушения (разрыва) переходной зоны будет исключена (рис. 2), хотя деформации и могут иметь место.

б) При большой толщине слоя фильтра представляется возможным применять разнозернистые естественные карьерные грунты с высокой степенью коэффициента разнозернистости ( $\eta_{\phi} < 50$  и более) без их дорогостоящей переработки (отмыва мелких и отсева крупных фракций, как это делается для тонкослойных фильтров).

в) Толщина первого слоя фильтра переходной зоны для высоких плотин должна назначаться не только по фильтрационным условиям и условиям производства работ, но и с учетом возможных горизонтальных смещений элементов сооружения (ядра и призмы плотины) от неравномерных осадок.

Минимальная толщина первого слоя фильтра переходной зоны  $T_{\text{мин}}$  для указанного типа плотин должна быть (рис. 2):

$$T_{\text{мин}} \geq 3 + t' \text{ (м)}, \quad (10)$$

где  $t'$  — суммарный размер горизонтальных смещений ядра или призмы плотины (в м), определяемый расчетом или по данным исследований.

Примечание. Толщина последующих слоев переходной зоны, если имеется в них необходимость, может назначаться из условия производства работ, но не менее 3—3,5 м.

§ 11. Расчетные градиенты напора. 1. При проектировании или подборе гранулометрического состава первого слоя фильтра переходных зон, защищающего связный (глинистый) грунт, необходимо знать расчетное значение градиента фильтрационного потока  $I_p$  в связном грунте на выходе в первый слой фильтра.

Расчетное значение градиента напора фильтрационного потока на участке высачивания ядра или экрана плотины может быть определено или фильтрационными расчетами или методом ЭГДА.

Для ядра плотины градиент фильтрационного потока, при его выходе на низовую поверхность ядра в первый слой фильтра, может быть определен по следующей зависимости (рис. 3):

$$I_n = \frac{\sin \alpha}{\cos \beta}, \quad (11)$$

где  $\beta$  — угол между линией тока и низовой гранью ядра, берется из гидродинамической сетки, построенной графическим методом.

Однако для ядра плотины за расчетный градиент напора рекомендуется максимальный градиент на участке высачивания при выходе фильтрационного потока в первый слой фильтра на уровне воды нижнего бьефа (где  $\beta \approx \alpha$ ), который может быть принят равным:

$$I_{p(\alpha < 85^\circ)}^{\text{макс}} \approx \text{tg } \alpha, \quad (12)$$

где  $\alpha$  — угол наклона низового откоса ядра к горизонту<sup>1</sup> (рис. 3).

По полученному значению градиента напора ( $I_p^{\text{макс}}$ ) определяется расчетный диаметр пор грунта первого слоя фильтра  $D_{0, \text{расч}}$ , защищающего связный грунт (§ 13).

2. Связный грунт ядра плотины, контактируемый с крупнозернистым материалом (первого слоя фильтра), не должен подвергаться размыву и разрушению фильтрационным потоком, идущим в первом слое фильтра вдоль контакта по низовому откосу ядра.

Стеkanie профильтровавшейся воды по откосу ядра плотины будет происходить с гидравлическим уклоном, соответствующим заложению откоса ядра плотины (рис. 3).

Следовательно, за расчетный градиент напора на контакте ядра и первого слоя фильтра может быть принят

$$I_n = \sin \alpha, \quad (13)$$

где  $\alpha$  — то же, что и в формуле (12).

<sup>1</sup> Максимальный угол  $\alpha$  ядра плотины рекомендуется принимать  $\alpha < 76-80^\circ$ .

Данный градиент напора  $I_k$  должен быть меньше критического (§ 14), тогда в контактной зоне не будет происходить отрыва агрегатов частиц связного грунта ядра плотины и размыва контактной зоны.

3. В случае стекания профильтровавшейся воды (или ливневых вод) по контакту первого слоя со вторым слоем фильтра, за расчетный градиент напора следует принимать  $I_k$  по зависимости (13), а в случае вертикальной фильтрации в песчано-гравийно-галечниковом грунте тела плотины, т. е. при стекании (ливневой и др.) воды вниз, за расчетный градиент напора принимается  $I=1$  (рис. 3).

Данные проверки суффозионной прочности контактной зоны первого и второго слоев фильтра, а также суффозионной прочности самой песчано-гравийно-галечниковой призмы плотины следует выполнять в тех случаях, если это вызывается конкретными практическими условиями.

Примечание. Практика и проверочные расчеты показывают, что стекание воды вниз вдоль первого слоя фильтра на контакте со вторым слоем в процессе эксплуатации практически не наблюдается, а проникновение ливневых вод во внутрь тела плотины распространяется на незначительную глубину.

4. Для экрана плотины, за расчетный градиент напора, при выходе фильтрационного потока с низовой стороны экрана в первый слой фильтра, рекомендуется принимать (рис. 9):

а) при устройстве низовой призмы плотины из каменной наброски:

$$I_p = \frac{z}{\delta_9}, \quad (14)$$

где  $z$  — напор, действующий на плотину;  $\delta_9$  — толщина экрана (по нормали);

б) при устройстве низовой призмы плотины из песчано-гравийно-галечниковых грунтов:

$$I_p = \frac{z'}{\delta_9}, \quad (14')$$

где  $z'$  — напор на участке экрана в месте примыкания кривой депрессии (построенной для тела плотины);  $\delta_9$  — толщина экрана по нормали.

5. В соответствующих случаях, когда возникает необходимость защищать экран с верховой стороны (в случае снижения горизонта воды в верхнем бьефе и высачивании фильтрационных вод на верховой откос), за расчетный градиент напора рекомендуется принимать:

$$I_p \approx \lg \beta_0, \quad (15)$$

где  $\beta_0$  — угол наклона верхового откоса экрана к горизонту ( $\beta_0 < 90^\circ$ ).

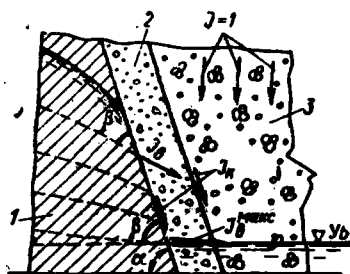


Рис. 3. Расчетные градиенты напора 1 — ядро плотины; 2 — переходная зона (фильтр); 3 — материал призмы плотины;  $\alpha$  — угол наклона низового откоса ядра к горизонту;  $\beta$  — угол между линией тока и низовой гранью ядра;  $I$  — градиент напора при вертикальной (сверху-вниз) фильтрации воды в призме плотины;  $I_k$  — градиент напора при контактной фильтрации;  $I_v$  — градиент напора (высачивания) при выходе фильтрационного потока на низовую поверхность ядра в слой фильтра;  $I_{\max}$  — то же максимальный градиент напора (высачивания) на уровне воды нижнего бьефа ( $\beta = \alpha$ ).

— 6. При расчетах (проверках) состава фильтра на контактный размыв верхового откоса экрана (плотины), при условии пульсирующего режима и продольной фильтрации в слое фильтра (от наката и спада волны), за расчетный градиент напора следует принимать:

$$I_{\Pi}^p = k_{\Pi} I_K, \quad (16)$$

где  $k_{\Pi}$  — коэффициент, учитывающий пульсирующий режим продольной фильтрации (по отношению к размывающему градиенту напора при равномерной установившейся продольной фильтрации)<sup>1</sup>;  $k_{\Pi} = 1,13—1,50$  (для расчетов рекомендуется среднее значение  $k_{\Pi} = 1,35$ );  $I_K$  — градиент в слое фильтра (фильтровой подготовке) на контакте со связным грунтом экрана (или верхнего откоса плотины):

$$I_K = \sin \beta_0. \quad (17)$$

где  $\beta_0$  — то же, что в формуле (15).

### Глава III. МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ПОДБОРА ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА ФИЛЬТРОВ ПЕРЕХОДНЫХ ЗОН

В практике проектирования гранулометрического состава фильтров переходных зон возникает необходимость решать задачу для одного из двух возможных вариантов.

**Вариант I.** Гранулометрический состав карьерных грунтов, предназначенных для устройства фильтров переходных зон, неизвестен.

В таком случае требуется за проектировать гранулометрический состав фильтров переходных зон для выбора соответствующих карьеров или для задания по искусственному их приготовлению, на камнедробильных заводах.

**Вариант II.** Гранулометрический состав карьерных грунтов или продукция камнедробильных заводов известны.

В этом случае требуется подобрать из данных грунтов соответствующий состав фильтров переходных зон.

Ниже приводятся для указанных двух вариантов — методика проектирования и методика подбора гранулометрического состава фильтров переходных зон.

#### А. МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА ФИЛЬТРОВ ПЕРЕХОДНЫХ ЗОН

*Проектирование гранулометрического состава первого слоя фильтра переходных зон для ядра плотины.*

**§ 12. Общие указания.** При проектировании гранулометрического состава материала первого слоя фильтра переходных зон ядра плотины, следует исходить из гидродинамических условий, которые влияют на фильтрационно-суффозионную прочность и устойчивость ядра, а также тех требований, которые при этом должны предъявляться к материалу первого слоя фильтра для нижней и верхней сторон ядра плотины [17, 18].

С нижней стороны ядра плотины работа фильтров переходных зон протекает в сложных гидродинамических условиях, что вызывает необходимость предъявлять и высокие требования к гранулометрическому составу фильтров, который должен обеспечивать прочность и надежность ядра плотины, недопуская при этом отрыва или отслаивания агрегатов частиц материала ядра в порах фильтра, размыва ядра по контакту фильтрационным потоком, идущим

<sup>1</sup> По данным проф., доктора техн. наук Н. Н. Беляшевского и канд. техн. наук Н. Г. Бугая.

щим в первом слое фильтра. Кроме того, материал первого слоя фильтра должен обеспечивать самозалечиваемость трещин в ядре плотины в случае их образования.

Что же касается переходной зоны с верховой стороны ядра плотины, то здесь следует различать два участка по высоте ядра и два разных режима работы фильтра с верховой стороны ядра (рис. 4).

На участке ядра от НПУ до УМО режим фильтрации может соответствовать режиму фильтрации низового откоса ядра в том случае, когда снижение уровня воды в верхнем бьефе будет происходить быстрее, чем водоотдача грунта ядра плотины.

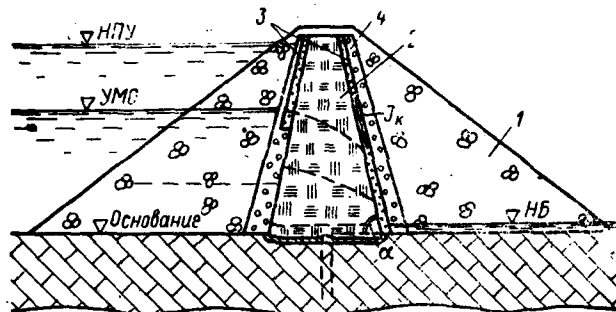


Рис. 4. Каменно-земляная плотина с ядром

1—каменная наброска; 2—ядро (экран) плотины; 3—первый слой фильтра переходной зоны; 4—второй слой фильтра переходной зоны;  $\alpha$ —угол наклона низового откоса ядра к горизонту;  $J_k = \sin \alpha$ —градиент напора контактной фильтрации (при стекании профильтровавшейся воды по поверхности низового откоса ядра в первом слое фильтра).

На участке от УМО до основания ядра переходная зона верхового откоса ядра будет находиться в другом и наиболее благоприятном режиме фильтрации, отличном от режима фильтрации переходной зоны с низовой стороны ядра.

В этом случае грунт ядра плотины в порах фильтра будет не отрываться (отслаиваться) фильтрационным потоком от тела ядра плотины, а прижиматься к телу ядра, так как направление фильтрации происходит в сторону низовой грани ядра плотины.

Кроме того, в этой части ядра плотины (от его основания до УМО) контактная фильтрация между ядром и первым слоем фильтра отсутствует, что исключает возможность размыва ядра вследствие контактной фильтрации.

Учитывая вышесказанное, проектирование гранулометрического состава первого слоя фильтров для переходных зон ядра плотины должно выполняться отдельно для низового и верхового откосов, по методике приведенной ниже.

#### 1. Проектирование гранулометрического состава первого слоя фильтра для низового откоса ядра плотины

§ 13. Определение расчетного размера диаметра фильтрационных пор грунта первого слоя фильтра. Если характеристики связного грунта имеют такие значения (см. § 7), при которых обеспечивается молекулярное сцепление между агрегатами частиц, тогда при наличии в глинистом грунте фильтрационного потока, идущего в направлении подстилающего слоя (фильтра) с градиентом напора  $I$ , на агрегаты связного грунта в незащищенных местах-порах, будет действовать гидродинамическое давление, которое стремится оторвать от массы связного грунта как отдельные частицы, так и целые агрегаты.

Чтобы отрыва или отслаивания связного грунта в незащищенных местах (порах) не происходило, размер (диаметр) пор материала первого слоя фильтра должен быть таким, при котором обеспечивается молекулярное сцепление между агрегатами частиц связного грунта.

А. Для условий недопущения отрыва или отслаивания агрегатов частиц связного грунта на контакте с грунтом первого слоя фильтра, расчетный диаметр пор  $D_0^{\text{расч}}$  материала первого слоя фильтра, защищающего связный грунт, должен определяться по следующей зависимости:

$$D_0^{\text{расч}} = \sqrt{\frac{0,34}{\varphi I_p + \cos \theta}} \quad (\text{см}), \quad (18)$$

причем  $D_0^{\text{расч}} \leq 0,583 \text{ см}$ ,  $\theta = 0^\circ \div 90^\circ$ .

При  $\theta = 0^\circ$ , т. е. когда направление фильтрации совпадает с направлением силы тяжести, зависимость (18) примет вид:

$$D_0^{\text{расч}} = \sqrt{\frac{0,34}{\varphi I_p - 1}}. \quad (18')$$

Зависимостью (18') рекомендуется пользоваться при проектировании (подборе) фильтров для экранов плотин (а также, с некоторым запасом, для ядер плотин);  $\varphi$  — опытный коэффициент градиента напора, значения которого  $\varphi = f(I_p)$  приведены в таблице.

Значения  $\varphi = f(I_p)$

$I_p$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	>10
$\varphi$	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,41	0,42	0,43	0,44	0,45

Б. Для условий возможного допущения некоторого отслаивания агрегатов частиц связного грунта (см. гл. II, § 7, примечание), для плотин II—IV классов по капитальности и временных сооружений:

$$D_0^{\text{расч}} = \sqrt{\frac{2,25}{\varphi I_p + \cos \theta}} \quad (\text{см}), \quad (18a)$$

причем  $D_0^{\text{расч}} \leq 1,5 \text{ см}$ ,  $\theta = 0^\circ \div 90^\circ$ .

$I_p$  — расчетный градиент напора при выходе из связного грунта в первый слой фильтра, определяемый фильтрационными расчетами или методом ЭГДА; для ядра плотины принимается по зависимости (12);  $\theta$  — угол между направлениями фильтрации и силы тяжести.

Следовательно, для того, чтобы отслаивание связного (глинистого) грунта в зоне контакта с крупнозернистым материалом — фильтром или деформаций (при допущении некоторого отслаивания) не происходило, защитный слой крупнозернистого материала (фильтра) должен быть подобран такого гранулометрического состава, чтобы удовлетворялось основное условие:

$$D_0^{\text{макс}} \leq D_0^{\text{расч}}, \quad (19)$$

где  $D_0^{\text{макс}}$  — максимальный размер фильтрационных пор крупнозернистого материала — первого слоя фильтра, определяемый по зависимости (3).

§ 14. Проверка прочности связного грунта и гранулометрического состава первого слоя фильтра на контактный разрыв продольным фильтрационным потоком. а) Фильтрационный поток на выходе из ядра плотины будет стекать по низовому откосу ядра в крупнозернистом материале первого слоя фильтра.

Связный грунт ядра плотины, контактируемый с крупнозернистым материалом первого слоя фильтра, не должен подвергаться контактному размыву и разрушению фильтрационным потоком. Поэтому принятый по зависимости (18), (18'), (18a) или по основному условию (19), гранулометрический состав первого слоя фильтра с расчетным диаметром фильтрационных пор  $D_{0\text{расч}}$  или  $D_{0\text{макс}}$  должен быть проверен на пригодность по обеспечению прочности связного грунта при контактной фильтрации (на контактный размыв).

б) Связный грунт с числом пластичности  $W_p \geq 7$  и коэффициентом влажности  $G \geq 0,80-0,85$ , контактируемый с крупнозернистым материалом первого слоя фильтра, не будет подвергаться контактному размыву и разрушению, если материал первого слоя фильтра подобран так, что при прохождении в нем фильтрационного потока создаются такие гидродинамические условия, при которых не нарушаются прочность и устойчивость связного грунта.

Для условий недопущения размыва в зоне контакта связного грунта с крупнозернистым материалом максимальный размер пор в нем  $D_{0\text{макс}}$  должен быть таким, чтобы удовлетворялось следующее условие:

$$I_k \leq 0,75 I_{кр}, \quad (20)$$

где  $I_k$  — расчетный градиент напора в крупнозернистом грунте на контакте со связным грунтом принимается по зависимости (13);  $I_{кр}$  — критический градиент напора для связного грунта контактируемого с крупнозернистым материалом:

$$I_{кр} = \frac{1}{\sqrt{D_{0\text{макс}}}} - 0,75, \quad (21)$$

где  $D_{0\text{макс}}$  в см — определяется по зависимости (3), причем  $D_{0\text{макс}} \leq 1,8$  см.

в) Если условие (20) не удовлетворяется, это указывает на то, что принятый гранулометрический состав грунта первого слоя фильтра по условию (19) следует изменить.

Для нахождения нового состава первого слоя фильтра поступаем следующим образом. Из зависимости (20) определяем для данных конкретных условий значение  $I_{кр}$ , который будет равен  $I_{кр} = I_k : 0,75$ . Далее, это значение подставляем в зависимость (21) и, решая ее относительно  $D_{0\text{макс}}$ , получим:

$$D_{0\text{макс}} \leq \frac{0,56}{(I_k + 0,56)^2} \text{ (см)}. \quad (22)$$

Новый гранулометрический состав первого слоя фильтра, максимальный размер пор которого соответствует зависимости (22), будет удовлетворять основному условию (19) и условию (20).

г) Нахождение расчетных размеров фракций ( $D_{10}$ ,  $D_{17}$ ,  $D_{60}$  и  $D_{100}$ ) данного состава грунта и построение его кривой гранулометрического состава приводится ниже в § 15, только в зависимость (23) вместо  $D_{0\text{расч}}$  подставляется  $D_{0\text{макс}}$ , полученное из зависимости (22).

§ 15. Методика определения расчетных размеров фракций и построение «зоны допустимого гранулометрического состава грунта, пригодного для первого слоя фильтра». В основу методики проектирования гранулометрического состава первого слоя фильтров переходных зон принято условие недопущения деформаций связного грунта в зоне контакта с материалом первого слоя фильтра. Это условие определяется зависимостями (18), (18'), (18a), (22) и (19).

Исходя из принятого условия ниже приводится методика определения расчетных размеров, основных фракций первого слоя фильтра:

а) Зная из зависимости (18), (18'), (18a)  $D_{0\text{расч}}$ , находим размер фракций  $D_{17}$  первого слоя фильтра из основного условия (19), подставляя вместо  $D_{0\text{макс}}$  из зависимости (3) его значение и решая ее в отношении  $D_{17}$  получим:

$$D_{17} = \frac{D_{0\text{расч}}}{\pi C} \frac{1 - n_{\phi}}{n_{\phi}}, \quad (23)$$

где  $x$  — принимается по зависимости (4);  $C = 0,455\sqrt{\eta_{\phi}}$ ;  $\eta_{\phi}$  — принимается согласно зависимости (9), § 9;  $n_{\phi}$  — допустимая пористость материала фильтра:

$$n_{\phi} = n_0 - 0,1 \lg \eta_{\phi}, \quad (24)$$

где  $n_0 = 0,40$  — для песчано-гравийно-галечниковых грунтов;  $n_0 = 0,45$  — для щебеночных грунтов.

б) Действующий диаметр фракций первого слоя фильтра определяется из соотношения

$$D_{10} = i D_{17}, \quad (25)$$

причем коэффициент  $i$  находим из графика  $i = f(D_{10}/D_{17})$ , (рис. 5).

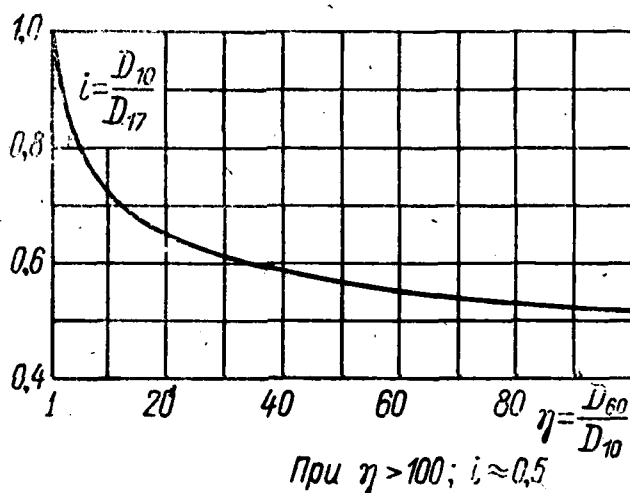


Рис. 5. График  $\eta = f\left(\frac{D_{10}}{D_{17}}\right)$ .

в) Контролирующий диаметр фракций первого слоя фильтра определяется из условия

$$D_{60} = \eta_{\phi} D_{10}. \quad (26)$$

г) Максимальный диаметр фракций первого слоя фильтра  $D_{\max} = D_{100}$  следует определять по зависимости

$$D_{100} \leq D_{10} + 10x D_{60} \frac{\eta_{\phi} - 1}{5\eta_{\phi}^2}, \quad (27)$$

где  $x = 1 + 1,28 \lg \eta_{\phi}$ ;  $D_{10}$  и  $D_{60}$  — размеры фракций, полученные по зависимостям (25) и (26).

д) По полученным расчетным значениям  $D_{10}$ ,  $D_{17}$ ,  $D_{60}$  и  $D_{100}$  строится расчетная кривая гранулометрического состава грунта, пригодного для первого слоя фильтра (кривая Ф, рис. 6).

е) Данный состав грунта, удовлетворяет основному условию (19), т. е.  $D_{0\max} \leq D_{\phi}^{\text{расч}}$ , что соответствует самой невыгодной его раскладке для принятого расчетного значения коэффициента разноразмерности  $\eta_{\phi}^{\text{расч}}$ .



ж) Полученная расчетная кривая  $\Phi$  должна являться «нижним пределом» допустимого гранулометрического состава грунтов, пригодных для устройства первого слоя фильтра.

Отклонение кривой гранулометрического состава грунта вправо за «нижний предел» кривой  $\Phi$  не допускается, такой состав грунта для первого слоя фильтра является непригодным.

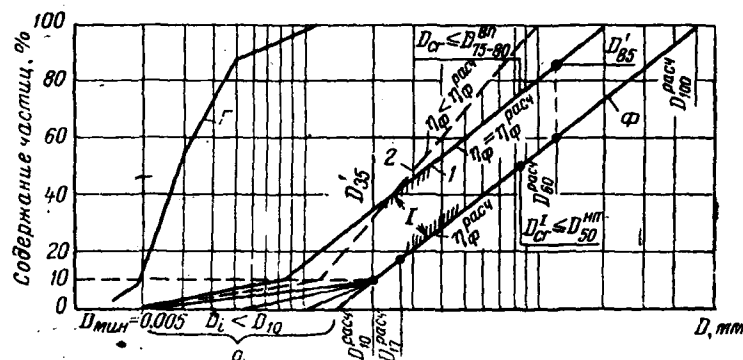


Рис. 6. Расчетный гранулометрический состав грунта первого слоя фильтра переходных зон

Г — связный (глинистый) грунт, защищаемый фильтром;  $\Phi$  — расчетный гранулометрический состав грунта, пригодного для укладки в первый слой фильтра с  $\gamma_{\Phi} = \gamma_{\Phi}^{\text{расч}}$  (нижний предел «зоны»); 1 — зона допустимого гранулометрического состава грунта, пригодного для укладки в первый слой фильтра; 1 — грунт, пригодный для укладки в первый слой фильтра с  $\gamma_{\Phi} = \gamma_{\Phi}^{\text{расч}}$  (верхний предел «зоны»); 2 — грунт, пригодный для укладки в первый слой фильтра с  $\gamma_{\Phi} < \gamma_{\Phi}^{\text{расч}}$ ; а — область допустимых размеров мелких фракций  $D_1 < D_{10}$  (10%) в составе фильтра (от  $D_{\text{мин}} = 0,005$  до  $D_{10}$  мм).

з) Все грунты, кривые гранулометрического состава которых укладываются слева от кривой  $\Phi$  и имеют коэффициент разнозернистости  $\gamma_{\Phi} = \gamma_{\Phi}^{\text{расч}}$  или  $\gamma_{\Phi} < \gamma_{\Phi}^{\text{расч}}$  (кривые 1 и 2, рис. 6) являются пригодными для первого слоя фильтра. Такие грунты создают значительный запас по обеспечению фильтрационной прочности защищаемого связного грунта; по сравнению с грунтом, соответствующим расчетной кривой  $\Phi$ .

Однако значительное отступление от расчетной кривой влево за пределы кривой 1 (более мелкий гранулометрический состав фильтра) может потребовать дополнительного слоя переходной зоны.

Отступление от расчетной кривой  $\Phi$  рекомендуется в пределах, как указано на рис. 6, кривая 1, чтобы расчетный размер фракций  $D_{60}^{\text{расч}}$  кривой  $\Phi$  соответствовал бы размеру фракций  $D_{85}'$  кривой 1, а расчетный размер фракций  $D_{10}^{\text{расч}}$  кривой  $\Phi$ , размеру фракций  $D_{35}'$  кривой 1, т. е.  $D_{60}^{\text{расч}} = D_{85}'$  и  $D_{10}^{\text{расч}} = D_{35}'$ . Тогда кривая 1 будет являться «верхним пределом» допустимого гранулометрического состава грунта, пригодного для укладки в первый слой фильтра (зона 1), рис. 6.

и) Мелкие фракции в составе первого слоя фильтра в количестве 10% (по весу) диаметром  $D < D_{10}^{\text{расч}}$  могут иметь любой размер, меньший  $D_{10}^{\text{расч}}$  например, от 0,005 мм до  $D_{10}^{\text{расч}}$  см. область а, рис. 6.

к) Коэффициент фильтрации расчетного состава грунта фильтра переходной зоны (кривая Ф) может быть определен по формуле [1] М. Павича:

$$K_{\phi} = A \frac{n_{\phi}^3}{(1 - n_{\phi})^2} D_{17}^3 \text{ (см/сек)}, \quad (28)$$

$A = \frac{4\varphi_1^3 \gamma_{\phi}}{\nu} \text{ (1/см·сек)}$ ;  $\varphi_1$  — коэффициент, учитывающий форму и шероховатость частиц грунта; по данным Г. Х. Праведного рекомендуется: для песчано-гравелистых грунтов  $\varphi_1 = 1$ ; для щебеночных грунтов  $\varphi_1 = 0,35 - 0,40$ ;  $\nu$  — кинематический коэффициент вязкости воды,  $\text{см}^2/\text{сек}$ ;  $D_{17}$ , см; или по формуле А. Н. Патрашева

$$K_{\phi} = \frac{n_{\phi} g \varphi_1}{51 \nu} D_0^3, \quad (28')$$

где  $g = 981 \text{ см/сек}^2$  — ускорение силы тяжести;  $D_0$  (см) — расчетный диаметр фильтрационных пор, определяется по зависимости (42).

§ 16. Проверка на суффозионную прочность гранулометрического состава грунта первого слоя фильтра. а) Если гранулометрический состав грунта первого слоя фильтра суффозионный, то в таком случае данный состав грунта следует проверить на неразрываемость контактной зоны продольным фильтрационным потоком, так как в случае выноса из его состава значительного количества мелких частиц может нарушиться его прочность и устойчивость, чего допускать нельзя.

б) При продольной фильтрации (т. е. при стекании воды по контакту связанного грунта и первого слоя фильтра, рис. 3) гранулометрический состав грунта первого слоя фильтра следует считать суффозионнопрочным, если выполняется следующее условие:

$$d_{ci} = \frac{0,0032 \sin \alpha}{\varphi_0' \sqrt{n_1/K_1}} \leq D_0^I, \quad (29)$$

$$\varphi_0' = 0,30 (\gamma_1 - 1) f_*, \quad (30)$$

$$f_* = 0,82 - 1,8n_1 + 0,0062 (\gamma_1 - 5), \quad (31)$$

$d_{ci}$  — размер суффозионных частиц в составе грунта первого слоя фильтра, которые могут быть вынесены продольным фильтрационным потоком из контактной зоны;  $\alpha$  — угол наклона низового откоса ядра к горизонту, рис. 3;  $n_1$  — пористость грунта первого слоя фильтра (в долях единицы);  $\gamma_1$  — коэффициент разнородности первого слоя фильтра;  $K_{\phi}$  — коэффициент фильтрации первого слоя фильтра;  $\gamma_1$  — объемный вес,  $\gamma = \Delta(1 - n)$ ,  $\Delta = 2,60 - 2,65 \text{ г/см}^3$ .

Если же условие (29) не удовлетворяется, то в таком случае необходимо произвести дополнительную проверку, в результате которой принимается окончательное решение о пригодности или непригодности запроектированного или подобранного гранулометрического состава грунта первого слоя фильтра или назначается новый гранулометрический его состав.

в) Дополнительная проверка выполняется в том случае, если при проектировании или подборе гранулометрического состава грунта первого слоя фильтра основное условие (19) получено с запасом, т. е.  $D_0^{\text{расч}}$  не равно, а больше  $D_{01}^{\text{макс}}$  ( $D_0^{\text{расч}} > D_{01}^{\text{макс}}$ ).

В этом случае следует выполнить следующую проверку. Принимаем, что из запроектированного или подобранного гранулометрического состава грунта первого слоя фильтра вынесены все мелкие частицы, размер которых  $d_{ci}$  определен по зависимости (29).

Принимая, с учетом вынесенных частиц  $d_{ci}$  новый гранулометрический состав первого слоя фильтра за 100% с  $D_{01}^{\text{мин}} = d_{ci}$ , строим кривую его гранулометрического состава (кривая 2, рис. 7). Из полученной кривой 2 син-

AD-A089 031

JOINT PUBLICATIONS RESEARCH SERVICE ARLINGTON VA  
DIRECTIVES FOR PLANNING THE TRANSITIONAL ZONES OF EARTHFILL DAM-- TC(U)  
JUL 76 I Y DUBROVSKIY, L F SETKO

F/G 1 /2

UNCLASSIFIED

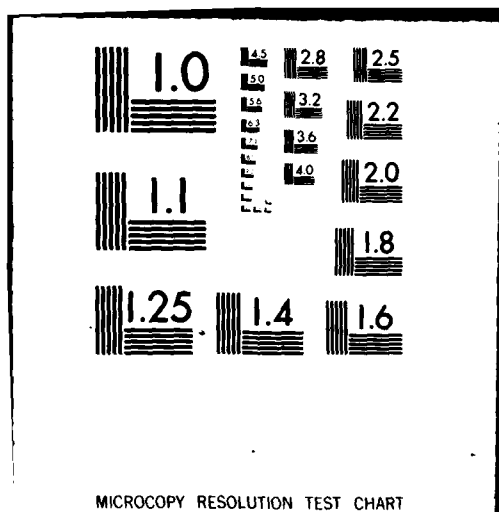
NL

2 of 2

4 of 4




END  
DATE  
FILMED  
10-80  
DTIC



маем значения  $D_{17}'$  и  $\eta'$  и по зависимости (24) определяем пористость  $n'_f$ . По полученным параметрам из зависимости (3) определяем  $D_{0 \text{ макс}}$ .

Если окажется, что  $D_{0 \text{ макс}} < D_{0 \text{ расч}}$ , то первоначальный гранулометрический состав грунта первого слоя фильтра (рис. 7, кривая 1), полученный из условия (19), следует считать пригодным.

Если же окажется, что условие (19) не удовлетворяется, то в таком случае следует назначить новый гранулометрический состав грунта первого слоя фильтра (см. ниже п. г).

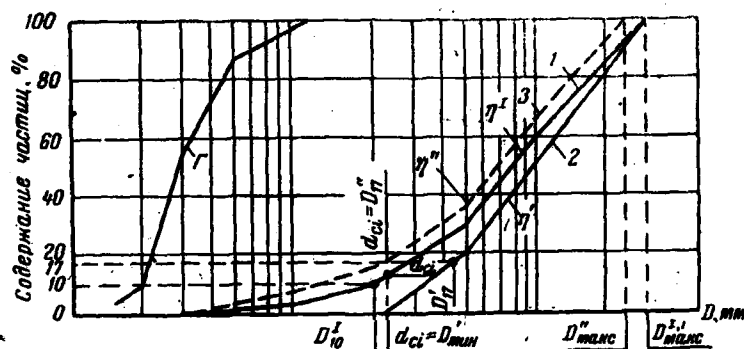


Рис. 7. К подбору гранулометрического состава грунта первого слоя фильтра переходных зон

Г — связный (глинистый) грунт, защищаемый фильтром; 1 — расчетный гранулометрический состав грунта первого слоя фильтра; 2 — гранулометрический состав грунта первого слоя фильтра, из которого вынесены все частицы размером меньше  $d_{c1}$ ; 3 — полученный новый состав первого слоя фильтра из условия  $d_{c1} = D_{17}''$  (с отсевом крупных фракций  $> D_{100}''$ ).

г) Новый гранулометрический состав грунта первого слоя фильтра назначается из условия, что  $d_{c1} = D_{17}''$  (рис. 7, кривая 3). Зная  $D_{17}''$ , по зависимостям (25), (26) и (27) определяются фракции  $D_{10}$ ,  $D_{17}$ ,  $D_{60}$  и  $D_{100}$ . По полученным размерам фракций  $D_{10}$ ,  $D_{17}$ ,  $D_{60}$  и  $D_{100}$  строится новая кривая гранулометрического состава грунта, которую следует принимать за расчетный гранулометрический состав первого слоя фильтра. Данный состав фильтра будет удовлетворять основным условиям (19), (20) и (29).

§ 17. Условие самозалечиваемости трещин в ядре (экране) высоких плотин. а) В высоких и сверхвысоких плотинах с тонкими ядрами (экранами), расположенных в узком каньоне с крутыми склонами, вследствие больших и неравномерных деформаций и разности осадок, а также сейсмических явлений, в некоторых случаях возможно образование отдельных местных трещин, которые нежелательны, особенно в низовой части ядра на контакте с обратным фильтром переходной зоны, как показано на рис. 8.

б) В таких случаях, чтобы контактная зона связного грунта ядра (экрана) плотины не размывалась фильтрационным потоком, выходящим по трещине в слой фильтра, фильтр переходной зоны должен быть запроектирован и уложен такого гранулометрического состава, при котором выносимые фильтрационным потоком агрегаты связного грунта или отдельные его частицы не проходили через слой фильтра, а кольматировали бы его в области трещины (рис. 8) и таким образом, создавались бы условия для залечивания самой трещины.

в) Следовательно, запроектированный или подобранный гранулометрический состав первого слоя фильтра, удовлетворяющий в таких случаях требованиям, предъявляемым к фильтрам переходных зон высоких и сверхвысоких плотин, должен быть проверен на условие кольматируемости.

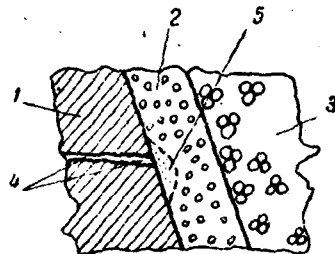


Рис. 8. Схема заделки трещины ядра плотины

1—ядро плотины; 2—переходная зона (фильтр); 3—призма плотины; 4—трещина в ядре плотины; 5—закольматированная область в фильтре (переходной зоне).

г) Если данный запроектированный или подобранный гранулометрический состав фильтра может быть закольматирован выносимыми из трещины ядра (экрана) плотины мелкими частицами, то такой состав фильтра следует считать удовлетворяющим данному условию.

д) Если данное условие не удовлетворяется, то запроектированный или подобранный состав фильтра должен быть изменен, чтобы полученный новый состав удовлетворял бы условию кольматируемости.

е) Условие кольматируемости (залечиваемости трещины)

будет выполнено в том случае, если запроектированный состав первого слоя фильтра будет удовлетворять следующему критерию кольматируемости:

$$\frac{D_{17}}{d_{90}} \leq \frac{26,5 (1 - n_{\phi})}{n_{\phi} \sqrt{\gamma_{\phi}}}, \quad (32)$$

где  $D_{17}$ —диаметр частиц грунта обратного фильтра, меньше которых в его составе содержится 17% по весу;  $n_{\phi}$ —пористость грунта обратного фильтра, в долях единицы;  $\gamma_{\phi}$ —коэффициент разнозернистости грунта обратного фильтра;  $d_{90}$ —диаметр кольматирующих первый слой фильтра частиц грунта ядра плотины, меньше которых в его составе содержится 90% по весу;  $d_{90} \approx d_{20}^{agr}$  или  $d_{90} \approx (0,2 - 0,1) d_{90}^{agr}$ , где  $d_{20}^{agr}$  и  $d_{90}^{agr}$ —размер агрегатных составов глинистого грунта при его размыве (причем коэффициент 0,2 соответствует грунту с числом пластичности  $W_n = 5 - 10$ , а  $0,1 - W_n > 10$ ).

Если в неравенство (32) вместо  $d_{90}$  подставить его среднее значение, выражающее агрегатность, т. е.  $d_{90} \approx 0,15 d_{90}^{agr}$ , то условие кольматируемости первого слоя фильтра агрегатами связного грунта будет иметь следующий вид.

$$\frac{D_{17}}{d_{90}^{agr}} \leq \frac{4 (1 - n_{\phi})}{n_{\phi} \sqrt{\gamma_{\phi}}}, \quad (32')$$

где буквенные обозначения те же, что и в (32).

ж) Если условие (32) не удовлетворяется, то в таком случае следует изменить запроектированный (подобранный) гранулометрический состав фильтра, приняв за расчетный размер диаметр фракции  $D_{17}$  из зависимости (32), т. е.

$$D_{17} \leq \frac{26,5 (1 - n_{\phi})}{n_{\phi} \sqrt{\gamma_{\phi}}} d_{90}, \quad (33)$$

Остальные размеры основных расчетных фракций кривой гранулометрического состава фильтра  $D_{10}$ ,  $D_{60}$  и  $D_{100}$  определяются по зависимостям (25), (26) и (27).

Полученный таким образом новый гранулометрический состав первого слоя фильтра будет удовлетворять условию кольматируемости, а следовательно, и залечиваемости трещин.

Полученную расчетную кривую гранулометрического состава следует принимать за нижний предел (рис. 6, кривая Ф) «зоны допускаемого гранулометрического состава грунта, пригодного для укладки в первый слой фильтра».

Примечание. Данный § 17 включен в состав настоящих «Указаний» как решение поставленного вопроса о возможности образования трещин в ядре плотины (что маловероятно, особенно сквозных трещин) и, если таковые образуются, то какие должны быть предусмотрены меры по их самозалечиванию.

Проектирование или подбор состава первого слоя фильтра из условия его кольматируемости связным грунтом ядра при его размыве, дает значительный запас в прочности и надежности, защищаемого им ядра (экрана) плотины.

## II. Проектирование гранулометрического состава первого слоя фильтра для верхового откоса ядра плотины

§ 18. Общие указания. Проектирование гранулометрического состава первого слоя фильтра переходной зоны для ядра плотины с верховой стороны, как указано в § 12, рекомендуется выполнять для двух участков по высоте ядра, т. е. для двух разных режимов работы фильтров [18].

Первый участок — от отм. НПУ до отм. УМО (рис. 4).

1. На данном участке ядра плотины режим фильтрации может соответствовать режиму фильтрации низового откоса ядра в том случае, когда снижение горизонта воды в верхнем бьефе будет происходить быстрее, чем водоотдача грунта ядра плотины.

В этом случае гранулометрический состав первого слоя фильтра для верховой стороны ядра должен удовлетворять всем требованиям, которые предъявляются к первому слою фильтра для низового откоса ядра.

Учитывая это положение, гранулометрический состав переходной зоны на данном верховом участке ядра (от  $\nabla$  НПУ до  $\nabla$  УМО) следует проектировать или подбирать (или принимать по аналогии), как для низового откоса ядра плотины, по методике, изложенной в § 13—16.

2. При постоянном горизонте воды в водохранилище (в верхнем бьефе), или при надлежащем обосновании, что при понижении горизонта воды в водохранилище не будет происходить высачивание фильтрационных вод на верховой откос ядра, проектирование или подбор гранулометрического состава первого слоя фильтра, в этом случае, могут быть выполнены как для второго участка ядра плотины от отм. УМО до его основания, по методике, изложенной ниже в § 19.

3. Однако при крупнообломочном материале верховой призмы плотины следует учитывать возможность проникновения и влияния пульсации воды (от наката и спада волны) на переходную зону.

В таких случаях на участке верхового откоса ядра на высоте наката и спада волны должны быть предусмотрены соответствующие защитные мероприятия (фильтр несuffозионного состава, двухслойный фильтр и др.).

Второй участок — от отм. УМО до отметки основания ядра (рис. 4).

В период эксплуатации на данном участке образуется так называемая «мертвая зона» где не происходит колебание уровня воды, а переходная зона работает по принципу «прямого» фильтра, т. е. направление фильтрации идет не от мелкозернистого состава грунта к крупнозернистому («обратный» фильтр), а наоборот — от крупнозернистого состава грунта к мелкозернистому.

В этом случае, как указано в § 12, фильтрационный поток, воздействуя на грунт ядра, оказывает положительное влияние на прочность материала ядра. Условия работы переходной зоны на данном участке являются наиболее благоприятными, по сравнению с низовым откосом. Поэтому требования к назначению переходной зоны и к ее гранулометрическому составу материала должны быть другие, наиболее пониженные (исключается высачивание фильтрационного потока на откос, отрыв или отслаивание материала ядра в порах фильтра, контактный разрыв).

§ 19. Проектирование (подбор) гранулометрического состава первого слоя фильтра переходной зоны для верхового откоса ядра на участке от отм. УМО до его основания [18]. а) Защищаемый грунт ядра плотины должен быть связным и удовлетворять требованиям, приведенным в § 7, п. 3, т. е.  $W_p > 7$ , при колебании влажности  $W$  в интервале пластичности:

$$W_p > W > W_L$$

где  $W_p$  — граница текучести;  $W_L$  — граница раскатывания грунта.

б) Минимальный объемный вес скелета связного грунта  $\gamma_{ск}$  ядра плотины, при его укладке, должен быть:

$$\gamma > \gamma_{ск}$$

где  $\gamma_{ск}$  принимается по зависимости (1).

в) Расчетный градиент напора для верхового участка ядра плотины (при отсутствии высачивания фильтрационного потока на откос) следует принимать:

$$I_p = 0$$

г) Расчетный диаметр фильтрационных пор материала первого слоя фильтра для данного верхового участка ядра плотины может быть определен по зависимости (18), при  $I=0$   $\cos \theta = 1$ , получим:

$$D_0^{расч} = \sqrt{\frac{0,34}{\gamma_p + \cos \theta}} = \sqrt{\frac{0,34}{0+1}} = 0,583 \text{ см} = 5,83 \text{ мм.}$$

д) Для высоких плотин с напором  $H > 100$  м, при устройстве однослойной переходной зоны и при сопряжении ее с каменной наброской верховой призмы плотины, рекомендуется ввести коэффициент запаса  $k_3 = 1,25$ . Тогда за расчетный размер фильтрационных пор материала верховой переходной зоны ядра, на участке от отм. УМО до его основания, следует принимать:

$$D_0^{расч} = 4,65 \text{ мм.}$$

е) Для обеспечения фильтрационной прочности и устойчивости верхового откоса ядра плотины на участке от отм. УМО до его основания максимальный диаметр фильтрационных пор ( $D_0^{макс}$ ) первого слоя фильтра переходной зоны должен быть:

$$D_0^{макс} < D_0^{расч} = 4,65 \text{ мм.}$$

где  $D_0^{макс}$  определяется по зависимости (3).

ж) Нахождение расчетных размеров фракций ( $D_{10}$ ,  $D_{17}$ ,  $D_{30}$ ,  $D_{60}$ ) данного состава грунта и построение «зон допустимого гранулометрического состава грунта, пригодного для укладки в первый слой фильтра»; выполняются по методике, изложенной в § 15.

з) По гидродинамическим условиям на данном участке верхового откоса ядра плотины (от отм. УМО до его основания) может быть уложен песчано-гравийно-галечниковый грунт как несuffозионного, так и suffозионного состава (любой степени suffозионности), если его состав удовлетворяет основному условию (19).

§ 20. Проектирование (подбор) гранулометрического состава грунта первого слоя фильтра переходных зон экрана плотины. Для экрана плотины.



устраиваемого из связного (глинистого) грунта, физические характеристики которого удовлетворяют требованиям, изложенным в § 7, п. 3 настоящих Указаний, проектирование (подбор) гранулометрического состава грунта первого слоя фильтра переходных зон, в зависимости от гидродинамических условий их работы, рекомендуется выполнять раздельно, как для низовой стороны экрана, так и для верховой стороны экрана.

**1. Проектирование (подбор) гранулометрического состава грунта первого слоя фильтра переходной зоны для низовой стороны экрана**

а) Определение расчетного размера диаметра фильтрационных пор первого слоя фильтра. Для условий недопущения отрыва или отслаивания агрегатов частиц связного грунта на контакте с грунтом первого слоя фильтра, расчетный размер диаметра фильтрационных пор материала первого слоя фильтра следует определять по зависимости (18)\*:

$$D_0^{\text{расч}} = \sqrt{\frac{0,34}{\varphi I_p + 1}}$$

где  $\varphi$  — принимается по таблице,  $\varphi = f(I_p)$ ;  $I_p$  — определяется по формуле (14) или (14'), в зависимости от материала призмы плотины (§ 11, п. 4) рис. 9.

б) Чтобы отслаивание связного (глинистого) грунта экрана на контакте с материалом первого слоя фильтра (или деформаций) не происходило, должно удовлетворяться основное условие (19):

$$D_0^{\text{макс}} < D_0^{\text{расч}}$$

где  $D_0^{\text{макс}}$  — максимальный размер фильтрационных пор первого слоя фильтра, определяется по зависимости (3).

в) Определение расчетных размеров фракций и построение «Зоны гранулометрического грунта, пригодного для укладки в первый слой фильтра» выполняются по методике, изложенной в § 15.

г) Запроектированный или подобранный гранулометрический состав первого слоя фильтра должен быть проверен на «условие самозалечиваемости трещин» в экране по критерию (32), § 17.

д) Если условие (32) не удовлетворяется, то запроектированный (подобранный) состав грунта первого слоя фильтра следует изменить, согласно рекомендаций, приведенных в § 17, п. ж).

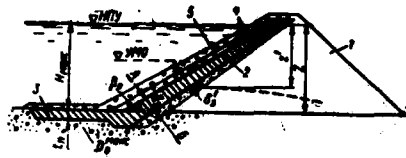


Рис. 9. Плотина с экраном и понуrom  
1 — тело плотины; 2 — экран; 3 — понур; 4 — переходные зоны (фильтры); 5 — защитный слой;  
z — напор на участке А-Б; z' — напор на участке экрана в месте примыкания кривой депрессии для тела плотины из песчано-гравийно-галечникового грунта;  $D_0^{\text{макс}}$  — максимальный размер фильтрационных пор грунта основания плотины.

**2. Проектирование (подбор) гранулометрического состава грунта первого слоя фильтра переходной зоны для верховой стороны экрана плотины**

Проектирование (подбор) гранулометрического состава первого слоя фильтра переходной зоны для защиты верховой стороны экрана (в зависимости от гидродинамических условий работы переходной зоны) следует выполнять, как и для ядра плотины (§ 16), для двух участков по высоте — для двух разных режимов работы фильтров.

Первый участок — защита экрана на участке колебания горизонта воды водохранилища от отн. НПУ до отн. УМО (рис 9), для случая высачи-

\* см. § 13, Б.

вания фильтрационных вод на верховой откос экрана, при снижении горизонта воды в верхнем бьефе, с учетом влияния волнового воздействия на переходную зону:

1) при наличии мелкозернистой (песчано-галечниковой или щебеночной) пригрузки с верховой стороны экрана;

2) при наличии крупнообломочной пригрузки.

а) Определение расчетного размера диаметра фильтрационных пор грунта ( $D_0^{расч}$ ) первого слоя фильтра.

Для условия недопущения отрыва или отслаивания агрегатов частиц связного грунта на контакте с первым слоем фильтра в данном случае для определения  $D_0^{расч}$  следует пользоваться зависимостью (18')\*

$$D_0^{расч} = \sqrt{\frac{0,34}{\varphi I_p + \Gamma}}$$

где  $\varphi$  принимается по таблице (стр. 18);  $I_p$  определяется по формуле (15), т. е.

$$I_p = \operatorname{tg} \beta_0$$

где  $\beta_0$  — угол наклона верхового откоса экрана к горизонту (рис. 9).

б) Полученный состав первого слоя фильтра с  $D_0^{расч}$  должен быть проверен на пригодность по обеспечению прочности связного грунта верхового откоса экрана, при контактной фильтрации, по условию (20), т. е.

$$I_k < 0,75 I_{кр.}$$

Причем для мелкозернистой пригрузки с верховой стороны экрана  $I_k$  в условии (20) принимается:

$$I_k = \sin \beta_0^{**},$$

где  $\beta_0$  — то же, что в формуле (15).

Для крупнообломочной пригрузки экрана (в случае влияния волнового воздействия на переходную зону) условие (20) будет иметь следующий вид:

$$I_n < 0,75 I_{кр.} \quad (34)$$

где  $I_n$  — принимается по зависимости (16);  $I_{кр.}$  — по зависимости (21), приняв  $D_0^{макс} = D_0^{расч}$ .

в) Если условие (20) или (34) неудовлетворяется, то для нахождения нового значения  $D_0^{расч}$  следует воспользоваться формулой (22).

Причем формула (22) может иметь два значения:

1) для мелкозернистой пригрузки экрана

$$D_0^{макс} < \frac{0,56}{(I_k + 0,56)^2} \text{ (см)}, \quad (22,а)$$

где  $I_k$  — принимается по зависимости (17);

2) для крупнообломочной пригрузки, т. е. с учетом влияния волнового воздействия на переходную зону:

$$D_0^{макс} < \frac{0,56}{(I_n + 0,56)^2} \text{ (см)}, \quad (22,б)$$

где  $I_n = k_n I_k$ , см. зависимость (16).

Полученное значение  $D_0^{макс}$  из условия (22,а) или (22,б) принимается за расчетное, т. е.  $D_0^{расч} = D_0^{макс}$ , если условие (20) или (34) неудовлетворяется.

г) Нахождение расчетных размеров фракций ( $D_{10}$ ,  $D_{15}$ ,  $D_{30}$ ,  $D_{60}$ ) данного состава грунта и построение «зоны гранулометрического состава грунта».

\* См. § 13, В.

\*\* См. формулу (17).

пригодного для укладки в первый слой фильтра, выполняются по методике, изложенной в § 15.

Второй участок — защита экранов на участке от отн. УМО до его основания и для случая постоянного горизонта воды в водохранилище, а также для случая при отсутствии высачивания фильтрационных вод на верховой откос экрана, при понижении горизонта воды в водохранилище (при надлежащем обосновании).

а) В данном случае, методика проектирования (подбора) гранулометрического состава грунта первого слоя фильтра для верховой стороны экрана в полной степени соответствует методике проектирования (подбора) гранулометрического состава первого слоя фильтра для верховой стороны ядра плотины на участке от отн. УМО до основания ядра.

б) При проектировании (подборе) гранулометрического состава грунта первого слоя фильтра для верховой стороны экрана следует пользоваться методикой, изложенной в § 18 и 19:

§ 21. Проектирование (подбор) гранулометрического состава фильтровой подготовки под крепления верховых откосов земляных плотин из связного (глинистого) грунта. При проектировании (подборе) гранулометрического состава фильтровой подготовки как под каменные, так и железобетонные крепления верховых откосов (рис. 10) земляных плотин, устраиваемых из связных (глинистых) грунтов с числом пластичности  $W_p > 7$  (для сооружений второго класса по капитальности и ниже  $W_p > 5$ ), обладающих молекулярным сцеплением, определяемым по зависимости (1), § 7, необходимо исходить из следующих условий:

1) гранулометрический состав фильтровой подготовки под верховые крепления откосов (по защите от волновых воздействий) должен быть практически несущим, удовлетворяющим зависимости (7) или (8);

2) фильтровая подготовка должна надежно защищать связный (глинистый) грунт верхового откоса плотины от: волновых воздействий, размыва фильтрационным потоком воды, вытекающей из тела плотины, размыва течением и пр.

Примечание. Проектирование или выбор типа покрытия верховых откосов против волнового воздействия должно выполняться согласно действующим СНиП [5].

а) Для условия динамических нагрузок на откос плотины, пульсирующей фильтрации в слое фильтровой подготовки (при накате и спаде волны на откос плотины), переменного горизонта воды в верхнем бьефе и возможного ее высачивания на верховой откос плотины, расчетный размер диаметра фильтрационных пор материала фильтровой подготовки ( $D_{\text{расч}}$ ) рекомендуется определять по зависимости (18'):

$$D_{\text{расч}} = \sqrt{\frac{0,34}{i_p + 1}}$$

причем в данном случае следует принимать  $\varphi = 1$ ,  $i_p = \text{tg } \beta_0$ , где  $\beta_0$  — угол наклона верхового откоса к горизонту (рис. 10).



Рис. 10. К проектированию (подбору) фильтровой подготовки под крепления верховых откосов  
1 — тело плотины из связного грунта ( $W_p > 5-7$ ); 2 — верховое покрытие откоса (каменное или железобетонными плитами); 3 — слой фильтровой подготовки; 4 — накат волны;  $\beta_0$  — угол наклона верхового откоса плотины к горизонту.

б) Для того, чтобы не происходило отслаивание связного (глинистого) грунта в зоне контакта с материалом фильтровой подготовки, гранулометрический состав материала фильтровой подготовки должен удовлетворять основному условию (19), т. е.

$$D_0^{\text{макс}} < D_0^{\text{расч}},$$

где  $D_0^{\text{макс}}$  — максимальный размер диаметра фильтрационных пор фильтровой подготовки, определяется по зависимости (3).

в) Фильтровая подготовка будет надежно защищать от контактного размыва откос плотины, при пульсирующем режиме продольной фильтрации (от наката и спада волны), в том случае, если будет удовлетворяться условие (34):

$$I_n < 3,75 I_{np} \quad (34)$$

где  $I_n$  — принимается по зависимости (16);  $I_{np}$  — по зависимости (21).

г) Если условие (34) не удовлетворяется, тогда следует изменить гранулометрический состав фильтровой подготовки, см. § 20, 2, в.

д) Материал фильтровой подготовки не должен проникать в поры каменной наброски ( $D_0^{\text{кн}}$ ) или раскрывшуюся щель ( $b_{\text{щ}}$ ) железобетонного покрытия (рис. 10).

Это условие может быть выражено следующими зависимостями:

1) для каменного покрытия:

$$D_{50} > 0,55 D_0^{\text{кн}}, \quad (35)$$

где  $D_{50}$  — расчетный размер фракции фильтровой подготовки (принимается по кривой гранулометрического состава материала фильтровой подготовки);  $D_0^{\text{кн}}$  — определяется по зависимости (42);

2) для щели ( $b_{\text{щ}}$ ) железобетонного покрытия

$$D_{50} > 0,55 b_{\text{щ}}. \quad (36)$$

Если расчетный размер фракции материала фильтровой подготовки  $D_{50}$  не удовлетворяет зависимости (35) или (36), то в таком случае следует изменить значение коэффициента разноразмерности  $\eta_{\text{ф}}$  — фильтровой подготовки в большую сторону (в пределах до  $\eta_{\text{ф}} < 25$  для щебеночных грунтов и до  $\eta_{\text{ф}} < 20$  для песчано-гравелистых грунтов), т. е. назначить более разноразмерный состав материала грунта фильтровой подготовки.

Если и в этом случае не будет удовлетворяться зависимость (35) или (36), это указывает на то, что между каменным покрытием и слоем фильтровой подготовки должен быть уложен промежуточный слой из более мелкого состава камня. Причем гранулометрический состав промежуточного слоя должен быть таким, чтобы удовлетворялось условие (35) или (36).

При соблюдении указанных выше требований при проектировании состава фильтровой подготовки обеспечивается надежная защита откоса плотины и самой фильтровой подготовки от волновых воздействий на откос.

**Пример проектирования фильтровой подготовки**

Требуется для суглинистого грунта тела земляной плотины (рис. 10) за проектировать гранулометрический состав грунта фильтровой подготовки под верхнее покрытие откоса (каменное или железобетонными плитами).

**Порядок расчета**

Для проектирования гранулометрического состава фильтровой подготовки необходимо иметь физические характеристики (защищаемого) связного грунта тела плотины.

а) Материал тела плотины — суглинок, имеющий основные параметры (см. § 25):

глинистых частиц в своем составе  $d < 0,005 \text{ мм} - 15\%$ ;  
 число пластичности  $W_p = 13,98 > 7$ ;  
 коэффициент водонасыщения  $G = 0,85$ ;  
 удельный вес частиц  $\Delta = 2,70 \text{ г/см}^3$ ;  $\gamma_{ск} = 1,65 - 1,68 \text{ г/см}^3$ .

б) Объемный вес сухого грунта («скелета») суглинка при его укладке в тело плотины на контакте с фильтровой подготовкой, согласно зависимости (1), должен быть:

$$\gamma_{ск} > \gamma'_{ск} = \frac{\Delta}{1 + e_t}$$

при  $\Delta = 2,70 \text{ г/см}^3$ ,  $e_t$  — коэффициент пористости (на границе текучести) равен:

$$e_t = \frac{\Delta W_T}{100 \cdot \gamma_n} = \frac{2,70 \cdot 36,46}{100 \cdot 1} = 0,96.$$

После подстановки значений получим:

$$\gamma'_{ск} = \frac{2,70}{1 + 0,96} = 1,38 \text{ г/см}^3.$$

По проекту объемный вес укладываемого грунта в тело плотины будет иметь  $\gamma_{ск} = 1,65 - 1,68 \text{ г/см}^3$ . Следовательно, грунт тела плотины будет обладать связностью, молекулярным сцеплением, все расчеты по проектированию состава фильтровой подготовки должны выполняться как для связного грунта.

в) Для условий динамических нагрузок на верховой откос плотины и недопущения отслаивания связного грунта тела плотины (в порах) на контакте с фильтровой подготовкой, расчетный размер диаметра фильтрационных пор, материала фильтровой подготовки должен определяться по формуле (18'); а расчетный градиент напора по зависимости (15), где  $\beta_0$  — угол наклона верхового откоса плотины к горизонту (рис. 10).

В данном случае  $\beta_0 = 15^\circ$ ;  $I = \text{tg } \beta_0 = \text{tg } 15^\circ = 0,27$ .

Коэффициент градиента напора  $\phi = 1$ .

После подстановки значений в (18'), получим:

$$D_0^{\text{расч}} = \sqrt{\frac{0,34}{\phi I + 1}} = \sqrt{\frac{0,34}{1 \cdot 0,27 + 1}} = 0,52 \text{ см} = 5,2 \text{ мм}.$$

Следовательно для того, чтобы не происходило отслаивание связного грунта тела плотины на контакте с материалом фильтровой подготовки должно удовлетворяться основное условие (19), т. е.

$$D_0^{\text{макс}} \leq 5,2 \text{ мм},$$

где  $D_0^{\text{макс}}$  — максимальный размер диаметра фильтрационных пор материала фильтровой подготовки.

г) Фильтровая подготовка с  $D_0^{\text{макс}} = 5,2 \text{ мм}$  должна надежно защищать от контактного размыва откос плотины, при пульсирующей фильтрации (от наката и спада волны).

Это условие будет выполнено, если удовлетворяется неравенство (34), т. е.

$$I_n < 0,75 I_{кр} \quad (34)$$

В данном случае (рис. 10), при  $\beta_0 = 15^\circ$  по зависимости (16) определяем

$$I_n = k_n I_k \approx 1,35 \sin 15^\circ = 1,35 \cdot 0,26 = 0,35.$$

Значение  $I_{кр}$  определяется по зависимости (21):

$$I_{кр} = \frac{1}{\sqrt{\frac{D_0^{\text{макс}}}{0,52}}} - 0,75 = \frac{1}{\sqrt{0,52}} - 0,75 = 0,64.$$

После подстановки значений в (34), получим:  $0,35 < 0,75 \cdot 0,64$ , т. е.  $0,35 < 0,48$ .

Условие (34) удовлетворяется. Следовательно, данный состав грунта с  $L_0^{\text{макс}} = 5,2$  мм может быть принят в качестве фильтровой подготовки под каменные или железобетонные крепления верхних откосов плотины, при их защите от волновых воздействий.

д) Для построения кривой проектируемого несущего гранулометрического состава грунта фильтровой подготовки, имеющего расчетный размер фильтрационных пор  $D_0^{\text{расч}} = D_0^{\text{макс}} = 5,20$  мм = 0,52 см, следует пользоваться методикой, изложенной в § 15 (формулы 23, 24, 25, 26 и 27) и примером § 25, пп. е, ж, и, к, л, м.

Для данного примера в качестве фильтровой подготовки принимаем песчано-гравелистый грунт с коэффициентом разноразмерности  $\eta = 20$ . Пористость —  $n_\phi$  данного грунта определяется по зависимости (24):

$$n_\phi = n_0 - 0,1 \lg \eta_\phi = 0,40 - 0,1 \lg 20 = 0,27.$$

1) Диаметр фракций  $D_{17}$  определяется по зависимости (23):

$$D_{17} < \frac{D_0^{\text{расч}}}{\alpha C} \frac{1 - n_\phi}{n_\phi} = \frac{5,2}{2 \cdot 0,75} \frac{1 - 0,27}{0,27} = 9,4 \approx 9,0 \text{ мм.}$$

$$\alpha = 1 + 0,05 \eta_\phi = 1 + 0,05 \cdot 20 = 2;$$

$$C = 0,455 \sqrt[3]{\eta_\phi} = 0,455 \sqrt[3]{20} = 0,75.$$

2) Действующий диаметр фракций фильтровой подготовки  $D_{10}$  определяется по зависимости (25):

$$D_{10} = i D_{17} = 0,64 \cdot 9,0 = 5,8 \text{ мм;}$$

для  $\eta_\phi = 20$  из графика, рис. 5  $i = 0,64$ .

3) Контролирующий диаметр фракций  $D_{60}$  определяется из зависимости (26):

$$D_{60} = \eta_\phi D_{10} = 20 \cdot 5,8 = 116 \text{ мм.}$$

4) Максимальный диаметр фракций  $D_{100}$  определяется по формуле (27)

$$D_{100} = D_{10} + 10^2 D_{60} \frac{\eta_\phi - 1}{5 \eta_\phi^2} = 5,8 + 10^2 \cdot 116 \frac{20 - 1}{5 \cdot 20^2} = \approx 210 \text{ мм.}$$

$$\alpha = 1 + 1,28 \lg \eta_\phi = 1 + 1,28 \lg 20 = 2,67.$$

По полученным значениям размеров фракций  $D_{10}$ ,  $D_{17}$ ,  $D_{60}$  и  $D_{100}$  строится расчетная кривая гранулометрического состава фильтровой подготовки, которую следует принимать за нижний предел «рекомендуемой зоны», как показано на рис. 6, кривая Ф.

Построение «Зоны допустимого гранулометрического состава грунта, пригодного для укладки на откос плотины в качестве фильтровой подготовки» производится, как указано в § 15, пп. д—к.

е) Размер пор (верхового покрытия) каменной наброски  $D_0^{\text{кн}}$  или возможно допустимое раскрытие щели  $b_{\text{щ}}$ , при железобетонном покрытии верхних откосов плотины, определяется из зависимости (35) или (36).

Для данного примера расчета, при  $D_{10} \approx 6$  см, диаметр пор верхнего покрытия из камня (или возможно допустимое раскрытие щели железобетонных плит  $b_{\text{щ}}$ ):

$$D_0^{\text{кн}} \leq 1,8 D_{10} = 1,8 \cdot 6 = 10,8 \text{ см.}$$

При этом минимальная толщина слоя фильтровой подготовки —  $T_{\text{мин}}$  (по фильтрационным условиям) должна быть:

$$T_{\text{мин}} > (5 - 7) D_{60}. \quad (10)$$

т. е.  $T_{\text{мин}} > 75 - 100 \text{ см.}$

Из приведенных расчетов следует, что при защите (от волнового воздействия) откосов земляных плотин, устраиваемых из связных (глинистых) грунтов, основную роль защиты откосов от отслаивания и размыва осуществляет фильтровая подготовка, гранулометрический состав которой должен быть запроектирован по приведенной выше методике.

**Примечание.** В случае наличия карьерных грунтов, которые могут быть использованы в качестве фильтровой подготовки, подбор состава фильтровой подготовки должен выполняться, как указано в § 26, с учетом расчетных параметров, приведенных в данном § 21.

**§ 22. Определение коэффициента фильтрации суглинистого грунта.** В тех случаях (при разведке карьеров, фильтрационных расчетах и др.), когда неизвестен коэффициент фильтрации суглинистого грунта, его можно определить по предлагаемой ниже экспериментальной зависимости [1,11]:

$$k = \frac{\sqrt[3]{\eta}}{25\nu} \frac{n_{\phi}^3}{(1-n_{\phi})^2} d_{17}^2 \text{ (см/сек)}, \quad (37)$$

где  $\eta = \frac{d_{60}}{d_{10}}$  — коэффициент разнородности суглинистого грунта;  $\nu$  — кинематический коэффициент вязкости воды (см<sup>2</sup>/сек);  $d_{17}$  (мм) — размер частиц связного грунта, в составе которого содержится 17% и меньше по весу;  $n_{\phi}$  — фактическая пористость связного грунта, определяется по зависимости

$$n_{\phi} = n - W_m \gamma_{ск} \quad (38)$$

где  $n$  — пористость, соответствующая  $\gamma_{ск}$  объемному весу (скелета) сухого грунта:  $n = 1 - \frac{\gamma_{ск}}{\Delta}$ ;  $W_m$  — максимальная молекулярная влагоемкость связного грунта определяется по микроагрегатному методу:

$$W_m = 0,016A + 0,04B + 0,1V + 0,35Г, \quad (39)$$

где А, В, В и Г принимается в процентах в зависимости от частиц  $d$ : А— $d=0,5-0,25$  мм; В— $d=0,25-0,05$  мм; В— $d=0,05-0,005$  мм; Г— $d < 0,005$  мм (проценты А, В, В и Г — снимаются с кривой гранулометрического состава связного грунта).

**Пример.** Требуется определить  $k$  суглинистого грунта, гранулометрический состав которого представлен на рис. 16, а основные характеристики см. § 25.

$\gamma_{ск} = 1,75 \text{ т/м}^3$ ;  $n = 0,35$ ;  $\eta = 126$ ;  $d_{17} = 0,0065 \text{ мм}$ ;  $\nu = 0,013 \text{ см}^2/\text{сек}$  (при  $t = 10^\circ\text{C}$ ).

Из графика рис. 16, получаем:

$d = 0,5-0,25 \text{ мм} \dots A = 8\%$ ,  $d = 0,05-0,005 \text{ мм} \dots B = 20\%$ ,

$d = 0,25-0,05 \text{ мм} \dots B = 20\%$ ,  $d < 0,005 \text{ мм} \dots Г = 15\%$ .

После подстановки значений в зависимости (39), (38) и (37)

$$W_m = 0,016 \cdot 8 + 0,04 \cdot 20 + 0,1 \cdot 20 + 0,35 \cdot 15 = 8,2\% = 0,082;$$

$$n_{\phi} = 0,35 - 0,082 \cdot 1,75 = 0,207;$$

$$k_r = \frac{\sqrt[3]{126}}{25 \cdot 0,013} \frac{0,207^3}{(1-0,207)^2} 0,0065^2 = 4,12 \cdot 10^{-6} \text{ см/сек.}$$

**§ 23. Сопряжение переходной зоны с материалом призм плотин.**

1. Запроектированный или подобранный первый слой фильтра переходной зоны, примыкающий к связному грунту ядра (экрана) плотины одновременно должен надежно сопрягаться с материалом следующего второго слоя переходной зоны или с материалом боковых призм плотин.

Такое сопряжение первого слоя фильтра переходной зоны может осуществляться:

а) непосредственно с материалом призм плотины, которые могут возводиться из гравийно-галечникового грунта или из каменной наброски (рис. 11 и 12);

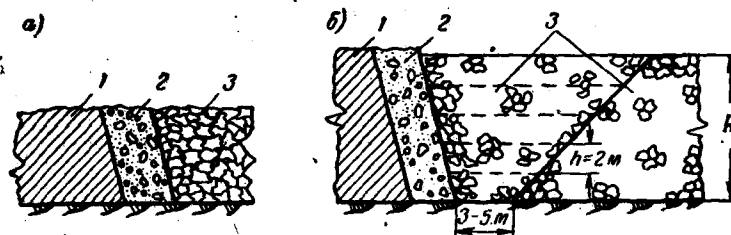


Рис. 11. Сопряжение однослойной переходной зоны с материалом призмы плотины

а — одновременное возведение элементов плотины 1, 2 и 3; б — раздельное возведение элементов плотины 1, 2 и 3; 1 — ядро плотины; 2 — переходная зона; 3 — боковая призма плотины;  $H$  — высота слоя отсыпки призмы плотины;  $h=2\text{ м}$  — высота слоя при засыпке «пазух».

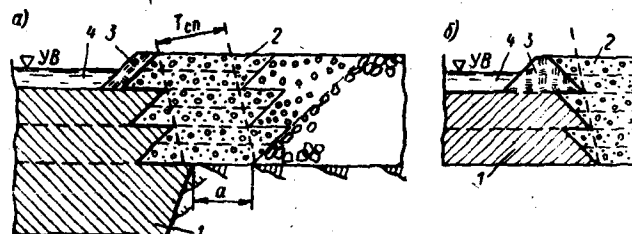


Рис. 12. Схема сопряжения однослойной переходной зоны с призмой и ядром плотины, возводимым способом отсыпки грунта в воду

а — ядро возводится с отставанием от переходной зоны; б — ядро возводится с опережением переходной зоны; 1 — ядро плотины; 2 — переходная зона; 3 — слой или дамбочка из уплотненного материала ядра; 4 — прудок;  $a=3-5\text{ м}$  — зона перекрытия первым слоем фильтра контакта ядра с основанием плотины.

б) с грунтом дополнительного второго слоя переходной зоны, который, в свою очередь, должен сопрягаться с каменной наброской призм плотины (рис. 13);

в) с более мелким по своему гранулометрическому составу материалом призм плотины, который может быть получен из того же карьера, из которого добывается материал для призм плотины, но с отбором (выборочно) более мелких фракций (в таком случае приконтактная зона должна быть шириной 3—5 м, рис. 14);

г) с естественным карьерным грунтом (без его отсева), который может быть использован для засыпки «пазух» каменнонабросных плотин, если его использование является технико-экономически целесообразным (рис. 15, а).

**Примечание.** В тех случаях, когда отсыпка призм плотины из разнозернистого материала производится слоем большой высоты  $H$ , в нижней части откоса отсыпки (в случае расслоения материала) следует предусмотреть укладку дополнительного прикрывающего слоя на высоту  $1/3 H$  (рис. 15, б), гранулометрический состав которого должен соответствовать расчетной кривой материала призм плотины.



2. Сопряжение первого слоя фильтра с материалом призмы плотины или вторым слоем, переходной зоны будет обеспечено, если удовлетворяется условие непросыпаемости грунта первого слоя фильтра во второй слой или в материал призмы плотины (устанавливаемые из гравийно-галечникового грунта или каменной наброски).

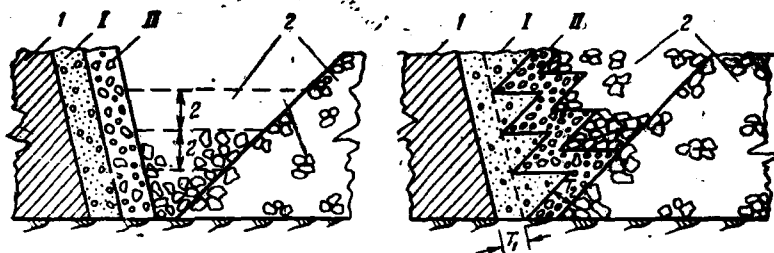


Рис. 13. Сопряжение двухслойной переходной зоны с материалом призмы плотины

1—ядро плотины; I—первый слой переходной зоны; II—второй слой переходной зоны; 2—материал призмы плотины.

В практических условиях могут встречаться два случая:

Первый случай. Гранулометрический состав призмы плотины или второго слоя фильтра и их физические характеристики известны. В этом

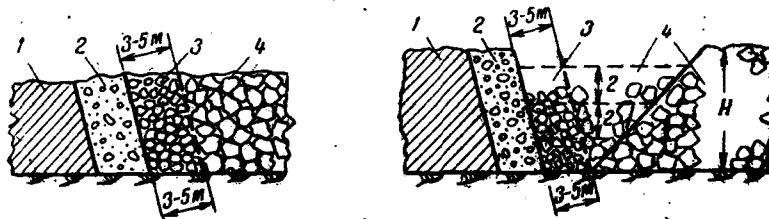


Рис. 14. Сопряжение переходной зоны с более мелким материалом призмы плотины

1—ядро плотины; 2—переходная зона; 3—приконтактная зона (3—5 м) из более мелкого материала призмы плотины; 4—призма плотины из рядового материала.

случае выполняется проверка на сопряжение первого (второго) слоя фильтра на условие непросыпаемости в данный конкретный материал призмы плотины.

Второй случай. Гранулометрический состав и физические характеристики материала призм плотины неизвестны.

В этом случае следует запроектировать гранулометрический состав материала призмы плотины, удовлетворяющий условию непросыпаемости.

Пользуясь запроектированным гранулометрическим составом в районе строительства выбираются соответствующие карьеры такого же состава гравийно-галечникового грунта или при разработке скальных пород каменных карьеров должна быть разработана такая технология (взрывных работ), при которой обеспечивался бы заданный гранулометрический состав каменной наброски.

3. Порядок расчета. А. В первом случае (когда гранулометрический состав и физические характеристики материала призмы плотины известны)

проверяется непрсыпаемость материала первого (второго) слоя фильтра в материал призмы плотины по следующей зависимости:

$$\frac{D_{cr}^n}{D_{cr}^I} \leq 1,8, \quad (40)$$

где  $D_{cr}^I$  — диаметр сводообразующих фракций грунта первого слоя фильтра.

Для переходных зон, имеющих мощные по толщине слои, за  $D_{cr}^I$  рекомендуется принимать:

$$D_{cr}^I < D_{50}^{np} \text{ или } D_{75-80}^{np}, \quad (41)$$

где  $D_{50}^{np}$  — относится к нижнему пределу, т. е. к расчетной кривой  $\Phi$ , рис. 6.

$D_{75-80}^{np}$  — относится к верхнему пределу зоны I\* (кривая I), рис. 6.

$D_0^n$  — средний диаметр пор материала призмы плотины; определяемый по следующей зависимости:

$$D_0^n = 0,455 \sqrt{\gamma_{np} \frac{n_{np}}{1-n_{np}}} D_{17}^n, \quad (42)$$

где  $\gamma_{np} = \frac{D_{60}}{D_{10}}$  — коэффициент разнотерности материала призмы плотины или второго слоя фильтра;  $n_{np}$  — пористость материала призмы плотины;

$D_{17}^n$  — диаметр фракций материала призмы плотины, в составе которого содержится 17% и меньше фракций по весу.

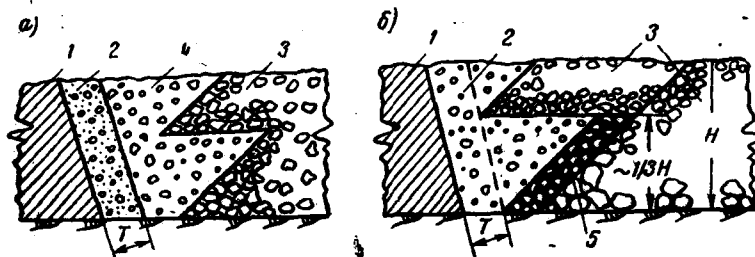


Рис. 15. Сопряжение переходной зоны с карьерным гравийно-галечным материалом (засыпка "пазух") и с устройством дополнительного слоя, прикрывающего откос у основания призмы плотины

1 — ядро плотины; 2 — переходная зона; 3 — призма плотины; 4 — естественный карьерный гравийно-галечниковый грунт, используемый для засыпки "пазух"; 5 — дополнительный прикрывающий слой, устраиваемый на  $1/3 H$  слоя отсыпки призмы плотины (в случае расслоения материала призмы плотины).

Если условие (40) не удовлетворяется, то это указывает, что требуется или второй слой переходной зоны или следует назначить более мелкий состав материала призм плотины, используя рекомендации, приведенные в пп. в и г настоящего параграфа (рис. 14; 15).

**Примечание.** Если первый слой сопрягается со вторым, а второй слой с призмой плотины, то проверка на непрсыпаемость производится по приведенной выше методике с учетом данных сопрягающихся материалов.

**Б.** Во втором случае (когда гранулометрический состав и физические характеристики материала призм плотины неизвестны) следует запроекти-

тизовать гранулометрический состав материала призмы плотины из условия непротыскаемости в него материала первого (второго) слоя фильтра.

В этом случае порядок расчета следующий:

1) из условия (40) определяется средний диаметр пор материала призмы плотины:

$$D_0^n \leq 1,8 \cdot D_{50}^I. \quad (43)$$

2) В зависимость (42) вместо  $D_0^n$  подставляется из (43) его значение и определяется диаметр фракции  $D_{17}^n$  материала призмы плотины:

$$D_{17}^n \leq \frac{1}{0,252 \sqrt{\gamma_{17}}} \frac{1 - n_n}{n_n} D_{50}^I. \quad (44)$$

Буквенные обозначения те же, что и в зависимостях (42) — (43).

3) Далее, задаваясь значением  $\gamma_n$  (§ 9) и определив значение  $n_n$  по зависимости (24) находим  $D_{17}^n$  по зависимости (44) и расчетные значения фракций  $D_{10}^n$ ,  $D_{60}^n$  и  $D_{100}^n$  по зависимостям (25), (26) и (27).

4) По полученным значениям  $D_{10}^n$ ,  $D_{17}^n$ ,  $D_{60}^n$  и  $D_{100}^n$  на графике строится расчетная кривая запроектированного гранулометрического состава материала призмы плотины. Причем, полученная расчетная кривая должна являться нижним пределом «зоны допустимого гранулометрического состава материала призмы плотины», т. е. гранулометрический состав материала призмы плотины в зоне контакта (на ширине 3—5 м, рис. 14) с первым слоем фильтра не должен быть крупнее расчетной кривой.

5) «Зона допустимого гранулометрического состава материала призмы плотины» может быть получена путем ограничения нижним и верхним пределами.

При этом за нижний предел следует принимать расчетную кривую  $D_{10}^n$ ,  $D_{17}^n$ ,  $D_{60}^n$  и  $D_{100}^n$ , а верхний предел может быть назначен за пределом соотношения  $\frac{D_{50}^n}{D_{50}^I} > 2,5$ , т. е. верхний предел «зоны» может значительно

приближаться к нижнему пределу «зоны первого слоя фильтра».

**Примечание.** За пределами контактной зоны (рис. 14) в остальную часть призмы плотины может укладываться материал отличный по крупности от расчетного, т. е. более крупный по своему составу по сравнению с расчетной кривой.

**§ 24. Условия фильтрационно-суффозионной прочности переходной зоны на контакте с материалом призмы плотины.** При проектировании переходных зон возникает вопрос о прочности переходной зоны на контакте с материалом призмы плотины (рис. 3) в связи с применением гидравлической укладки материала при возведении призмы плотины и в связи с атмосферными осадками в случаях ливневых вод, которые в первом и втором случаях могут проникать в тело плотины. Однако стекание воды вдоль контакта переходной зоны и призмы плотины в практических условиях не будет иметь места вследствие значительной водопроницаемости материала переходной зоны, большой ее мощности (толщины) и незначительного при этом расхода воды, чтобы образовался поток вдоль контакта (при гидравлической укладке материала призмы плотины и при наличии ливневых вод).

Кроме того, контактная зона грунта переходной зоны с материалом призмы плотины создается из условия непротыскаемости с образованием устойчивых сводиков или сводообразующих частиц (§ 23, п. 3)  $D_{cr} < D_{50}^I$  (или  $[D_{cr} < D_{50}^I]$ ), имеющих такую крупность, при которой в процессе фильтрации устойчивые сводики из этих фракций не могут быть разрушены фильтрационным потоком при тех градиентах напора, которые имеют место в натуре ( $I_x = \sin \alpha$ ), рис. 3.

Если допустить, что происходит стекание воды по контакту переходной зоны с материалом призмы плотины, то прочность и устойчивость контактной зоны может быть проверена, исходя из следующего условия: критический градиент напора, при котором могут выноситься сводообразующие фракции

$I_{кр}^c$ ,  $D_{cr} < D_{50}^I$  (или  $D_{cr} < D_{50}^{II}$ ), от выноса которых нарушается прочность и устойчивость контактной зоны, должен быть больше или равен действительному градиенту напора в зоне контакта  $I_k$  (рис. 3), т. е.

$$I_{кр}^c > I_k. \quad (45)$$

Критический градиент выноса сводообразующих частиц грунта первого (второго) слоя фильтра  $D_{cr} < D_{50}^I$  или  $D_{cr} < D_{50}^{II}$  может быть определен по зависимости А. Н. Патрашева:

$$I_{кр}^c = \gamma_0' D_{cr} \sqrt{\frac{n_{\phi} g}{\gamma K_{\phi}}}, \quad (46)$$

$$\gamma_0' = 0,30 (\gamma_{\phi} - 1) f_*, \quad f_* = 0,82 - 1,8 n_{\phi} + 0,0062 (\gamma_{\phi} - 5),$$

где  $D_{cr}$  — диаметр сводообразующих частиц грунта переходной зоны, контактируемой с материалом призмы плотины, в см;  $\gamma_{\phi}$ ,  $n_{\phi}$ ,  $\gamma_{\phi}$ ,  $K_{\phi}$  (см/сек) — соответственно объемный вес, пористость (в долях единицы), коэффициент разнотекучести и коэффициент фильтрации грунта переходной зоны, контактируемой с материалом призмы плотины;  $I_k$  — определяется по зависимости (13).

Если (при наличии фильтрационного потока, идущего по контакту) условие (45) удовлетворяется, то прочность и устойчивость контактной зоны не нарушится. В противном случае возможны незначительные осадки, вследствие изменения размера сводообразующих частиц в сторону увеличения их диаметра.

§ 25. Пример проектирования гранулометрического состава грунта (фильтров) переходных зон. В данном примере рассматривается случай (вариант I), когда гранулометрический состав карьерных грунтов, предназначенных для устройства фильтров переходных зон, и гранулометрический состав каменной наброски призмы плотины неизвестны.

Требуется, для данного типа каменнонабросной плотины с суглинистым ядром, представленной на рис. 1, в, запроектировать гранулометрический состав грунта фильтров переходных зон и максимально допустимый по крупности гранулометрический состав каменной наброски на контакте с переходной зоной (рис. 14).

#### Исходные данные

Материал ядра плотины — суглинок.

Средние расчетные характеристики суглинка следующие:

содержание глинистых частиц $d < 0,005$ мм . . . . .	15%
пылеватых частиц от 0,005 до 0,05 мм . . . . .	20%
песчаных . . . . .	45%
гравийно-галечниковых частиц $> 2$ мм . . . . .	20%
объемный вес скелета суглинка при укладке	
в ядро плотины $\gamma_{ск}$ . . . . .	1,75 т/м <sup>3</sup>
удельный вес частиц суглинка $\Delta$ . . . . .	2,70 т/м <sup>3</sup>
пористость $n$ . . . . .	0,35
число пластичности $W_n$ . . . . .	13,98%
верхний предел пластичности $W_L$ . . . . .	35,46%
нижний . . . . .	21,48%
оптимальная влажность $W_0$ . . . . .	≈ 17%
коэффициент водонасыщения $\sigma$ при оптимальной влажности . . . . .	0,85

Гранулометрический состав суглинка представлен на рис. 16.

### Порядок расчета

а) Материал ядра плотины — суглинок, имеющий основные параметры: глинистых частиц в своем составе  $d < 0,005$  мм — 15%, число пластичности  $W_L = 13,98 > 7$  (доп.), коэффициент водонасыщения (при  $W_0$ )  $G = 0,85 = 0,85$  (доп.), следует считать связным грунтом и все расчеты по проектированию гранулометрического состава первого слоя фильтра переходной зоны должны выполняться как для связного грунта.

б) Объемный вес сухого грунта («скелета») суглинка (нарушенной структуры) при его укладке в ядро плотины должен быть, согласно зависимости (1)

$$\gamma_{ск} \geq \gamma_{ск}' = \frac{\Delta}{1 - \epsilon_T};$$

при  $\Delta = 2,70$  г/см<sup>3</sup>  $\epsilon_T$  — коэффициент пористости при  $W_T$  (влажности предела текучести) равен:

$$\epsilon_T = \frac{\Delta W_T}{100 \gamma_b} = \frac{2,70 \cdot 35,46}{100 \cdot 1} = 0,96,$$

где  $\gamma_b \approx 1$  г/см<sup>3</sup> — объемный вес воды; после подстановки значений получим

$$\gamma_{ск}' = \frac{2,70}{1 - 0,96} = 1,38 \text{ г/см}^3.$$

Следовательно, при укладке суглинка в ядро плотины, его объемный вес должен быть

$$\gamma_{ск} \geq 1,38 \text{ г/см}^3 \text{ (по проекту } \gamma_{ск} = 1,75 \text{ г/см}^3).$$

в) Расчетный градиент напора при высачивании фильтрационного потока на низовую грань ядра плотины может быть определен или методом ЭГДА или по зависимости (12):

$$I_p^{\max} = \operatorname{tg} \alpha,$$

где  $\alpha$  — угол наклона низового откоса ядра к горизонту.

В данном случае  $\alpha = 80^\circ$ , а  $I_p^{\max} = \operatorname{tg} 80^\circ = 5,7$ .

г) Для данного градиента напора  $I_p^{\max} = 5,7$  расчетное значение диаметра пор грунта  $D_0^{\text{расч}}$  первого слоя фильтра переходной зоны, защищающего связный грунт, определяется из условия недопущения отрыва или отслаивания агрегатов глинистых частиц грунта по зависимости (18):

$$D_0^{\text{расч}} = \sqrt{\frac{0,34}{\varphi I_p + \cos \theta}} = \sqrt{\frac{0,34}{0,38 \cdot 5,7 + 0}} = 0,4 \text{ см} = 4 \text{ мм},$$

где  $I_p = 5,7$ ;  $\varphi = 0,38$  — по таблице (стр. 18);  $\theta \approx 90^\circ$  — угол между направлениями силы тяжести и скоростью фильтрации.

Следовательно, для того, чтобы не происходило отслаивание или отрыв агрегатов частиц связного грунта, состав крупнозернистого материала первого слоя фильтра переходной зоны должен быть таким, чтобы при самой его невыгодной раскладке (расслоения) максимальный диаметр его пор  $D_0^{\max}$ , как указывалось выше, был бы меньше или равен  $D_0^{\text{расч}}$ , т. е.  $D_0^{\max} < D_0^{\text{расч}}$  (19).

д) Данный состав грунта, имеющий расчетный диаметр пор  $D_0^{\text{расч}} = 4$  мм, должен защищать связный грунт ядра плотины от размыва при фильтрации вдоль контакта, т. е. должно удовлетворяться условие (20):  $I_k < 0,75 I_{кр}$ , где  $I_k$  — принимается по зависимости (13),  $I_{кр}$  — по зависимости (21).

В данном случае имеем:  $I_k = \sin \alpha = \sin 80^\circ = 0,98$ ;

$$I_{kp} = \frac{1}{\sqrt{D_0^{\max}}} - 0,75 = \frac{1}{\sqrt{0,4}} - 0,75 = 0,83.$$

Условие (20) не удовлетворяется, так как

$$I_k = 0,98 > 0,75 I_{kp} = 0,62.$$

В таком случае принимается новый состав первого слоя фильтра из условия (22), т. е.

$$D_0^{\max} = \frac{0,56}{(I_k + 0,56)^2} = \frac{0,56}{(0,98 + 0,56)^2} = 0,23 \text{ см.}$$

$$D_0^{\max} < 2,3 \text{ мм.}$$

Гранулометрический состав первого слоя фильтра, максимальный размер пор которого соответствует зависимости (22), удовлетворяет основному условию (19) и условию (20).

Следовательно, в данном случае за расчетный размер пор первого слоя фильтра следует принять

$$D_0^{\max} = D_0^{\text{расч}} = 2,3 \text{ мм.}$$

е) Для построения проектируемого гранулометрического состава грунта первого слоя фильтра переходной зоны, имеющего расчетный размер пор  $D_0^{\text{расч}} = 2,3 \text{ мм}$  следует назначить коэффициент разнозернистости  $\eta_\phi$ . Согласно § 9  $\eta_\phi < 50$ . Для примера принимаем  $\eta_\phi^I = 36$ .

Для принятого  $\eta_\phi^I = 36$ , допускаемая пористость для окатанных фракций материала фильтра  $n_\phi^I$  определяется по зависимости (24):

$$n_\phi^I = n_0 - 0,1 \lg \eta_\phi^I = 0,40 - 0,1 \lg 36 = 0,24.$$

ж) Определяем диаметр фракции  $D_{17}^I$  по зависимости (23)

$$D_{17}^I < \frac{D_0^{\text{расч}}}{\kappa C} \frac{1 - n_\phi^I}{n_\phi^I} = \frac{2,3}{2,8 \cdot 0,82} \cdot \frac{1 - 0,24}{0,24} = 3,2 \text{ мм.}$$

$$\kappa = 1 + 0,05 \eta_\phi^I = 1 + 0,05 \cdot 36 = 2,8;$$

$$C = 0,455 \sqrt[6]{\eta_\phi^I} = 0,455 \sqrt[6]{36} = 0,82.$$

з) Действующий диаметр фракции первого слоя фильтра переходной зоны  $D_{10}^I$  определяется по зависимости (25)

$$D_{10}^I = i D_{17}^I = 0,58 \cdot 3,2 \approx 1,6 \text{ мм.}$$

для  $\eta_\phi^I = 36$  из рис. 5  $i = 0,58$ .

и) Контролирующий диаметр фракции  $D_{80}$  определяется из условия (26)

$$D_{80}^I = \eta_\phi^I D_{10}^I = 36 \cdot 1,6 \approx 58 \text{ мм.}$$

к) Максимальный диаметр фракции  $D_0^{\max} = D_{100}^I$  определяется по зависимости (27)

$$D_{100}^I < D_{10}^I + 10^x \cdot D_{80}^I \frac{\eta_\phi^I - 1}{5 \eta_\phi^3} = 1,6 + 10^3 \cdot 58 \frac{36 - 1}{5 \cdot 36^3} = 315 \text{ мм.}$$

$$x = 1 + 1,28 \lg \eta_\phi^I = 1 + 1,28 \lg 36 = 3.$$

л) По полученным расчетным значениям строится расчетная кривая гранулометрического состава грунта первого слоя фильтра переходной зоны (кривая Ф, рис. 16):

Полученная расчетная кривая Ф должна являться «нижним пределом». Отклонение вправо за «нижний предел» не допускается. Отступление от расчетной кривой Ф и построение «зоны допустимого гранулометрического со-

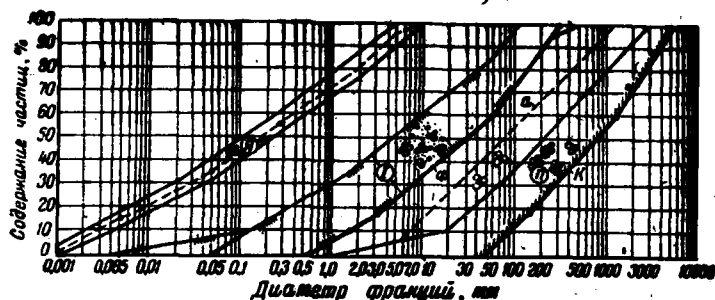


Рис. 16. График запроектированных составов фильтра переходной зоны и материала призмы плотины

1 — связный (глинистый) грунт ядра (экрана) плотины, защищаемый фильтром переходной зоны; 2 — зона запроектированного допустимого гранулометрического состава грунта, пригодного для укладки в первый слой фильтра переходной зоны; 3 — зона допустимого гранулометрического состава каменной наброски, пригодной для укладки в призму плотины на контакте с переходной зоной; Ф — расчетная кривая гранулометрического состава фильтра переходной зоны (нижний предел), за пределы которой отклонение гранулометрического состава грунта фильтра не допускается; К — расчетная кривая гранулометрического состава каменной наброски призмы плотины, за пределы которой на контакте с переходной зоной отклонение гранулометрического состава материала наброски не допускается; а — верхний предел «зоны гранулометрического состава каменной наброски», к которому должен приближаться гранулометрический состав каменной наброски на контакте с переходной зоной.

става грунта, пригодного для укладки в первый слой фильтра переходной зоны» приведены в § 15 пп. е, ж, з, и; и на рис. 16.

м) Для высоких и сверхвысоких плотин следует выполнить проверку на условие кольматируемости первого слоя фильтра материалом ядра плотины и залечиваемость трещин в ядре плотины, в случае возможного их образования.

Условие кольматируемости (залечиваемости трещин) будет выполнено, если запроектированный состав первого слоя фильтра будет удовлетворять критерию (32), т. е.

$$\frac{D_{17}^I}{d_{90}} < \frac{26,5(1 - n_{\Phi}^I)}{n_{\Phi}^I \sqrt{\gamma_{\Phi}^I}}$$

для данного расчетного случая имеем:

$$D_{17}^I = 3,2 \text{ мм}; \quad d_{90} = 3,8 \text{ мм}; \quad n_{\Phi}^I = 0,24; \quad \gamma_{\Phi}^I = 36.$$

После подстановки значений, получим:

$$\frac{D_{17}^I}{d_{90}} = \frac{3,2}{3,8} = 0,84; \quad \frac{26,5(1 - n_{\Phi}^I)}{n_{\Phi}^I \sqrt{\gamma_{\Phi}^I}} = \frac{26,5(1 - 0,24)}{0,24 \sqrt{36}} = 46,2.$$

Условие (32) удовлетворяется, так как  $0,84 < 46,2$ . Следовательно, данный состав первого слоя фильтра будет удовлетворять условию кольматируемости, а следовательно, и залечиваемости трещин.

н) Коэффициент фильтрации расчетного состава грунта первого слоя фильтра переходной зоны (кривая  $\Phi$ ) может быть определен по формуле (28):

$$K_{\Phi} = \frac{4\varphi_1}{\sqrt{\gamma_{\Phi}}} \frac{n_{\Phi}^3}{(1-n_{\Phi})^2} D_{17}^2 = \frac{4 \cdot 1}{0,013} \sqrt[3]{36} \frac{0,24^3}{(1-0,24)^2} 0,32^2 = 2,4 \text{ см/сек.}$$

о) Гранулометрический состав грунта первого слоя фильтра, при продольной фильтрации, следует считать суффозионноустойчивым, если выполняется условие (29), т. е.

$$d_{cl} = \frac{0,0032 \sin \alpha}{\varphi_0 \sqrt{n^1/K^1}} < D_s^1$$

Для данного расчетного случая имеем:  $\sin \alpha = 0,98$ ;  $D_{10}^1 = 1,6 \text{ мм}$ ;

$n_{\Phi}^1 = 0,24$ ;  $K_1 = 2,4 \text{ см/сек}$ ;  $\gamma_{\text{ск}}^1 = \Delta(1-n_{\Phi}^1) = 1,98 \text{ т.м}^3$ ;  $\gamma_{\Phi}^1 = 36$ ;

$f_* = 0,82 - 1,8 \cdot 0,24 + 0,0062(36 - 5) = 0,76$ ;

$\varphi_0 = 0,30(\gamma^1 - 1)f_* = 0,30(1,98 - 1) \cdot 0,76 = 0,224$ .

После подстановки значений, получим:

$$d_{cl} = \frac{0,0032 \cdot 0,98}{0,224 \sqrt{0,24/2,4}} = 0,043 \text{ см} = 0,43 \text{ мм},$$

$$d_{cl} = 0,43 \text{ мм} < D_s^1 = 1,0 \text{ мм}.$$

Следовательно, данный состав грунта первого слоя фильтра следует считать суффозионноустойчивым при продольной фильтрации.

п) Из приведенных расчетов следует, что запроектированный гранулометрический состав первого слоя фильтра удовлетворяет всем основным требованиям, предъявляемым к грунтам первого слоя фильтра переходных зон для высоких и сверхвысоких плотин, и поэтому он может быть рекомендован для строительства. «Зона допустимого гранулометрического состава грунта, пригодного для укладки в первый слой фильтра переходной зоны», представлена на рис. 16.

р) Толщина первого слоя фильтра (и последующих слоев) для высоких и сверхвысоких плотин назначается, согласно § 10 по зависимости (10).

#### Сопряжение переходной зоны с материалом призм плотины

При проектировании сопряжения переходной зоны с материалом призм плотины следует руководствоваться указаниями, изложенными в § 23.

В данном примере рассматривается случай, когда гранулометрический состав и физические характеристики материала призм плотины неизвестны.

Требуется запроектировать для однослойной переходной зоны гранулометрический состав материала призм плотины, удовлетворяющий условию непросыпаемости запроектированного материала первого слоя фильтра в каменную наброску призм плотины.

#### Порядок расчета

1) По зависимости (43) определяется средний диаметр пор проектируемой каменной наброски призм плотины  $D_0^n$ .

$$D_0^n < 1,8 D_{50}^1 = 1,8 \cdot 30 = 54 \text{ мм},$$

где  $D_{50}^1 = 30 \text{ мм}$  — размер сводящих образующих фракций первого слоя фильтра, соответствующих расчетной кривой  $\Phi$ , рис. 16.



2) Коэффициент разноразмерности материала каменной наброски, предназначенной для устройства призм плотин  $\eta_n$  следует назначать исходя из наличия конкретных карьерных материалов. Однако в целях предотвращения расслоения материала при его транспортировке и укладке в тело плотины следует стремиться, чтобы коэффициент разноразмерности его не превышал значения  $\eta_n < 25$ .

Для примера, коэффициент разноразмерности материала каменной наброски призм плотин принимаем  $\eta_n = 15$ . Пористость определяется по зависимости (24):

$$\eta_n = 0,45 - 0,1 \lg \eta_n = 0,45 - 0,1 \lg 15 = 0,34.$$

3) Размер фракций  $D_{17}^n$  определяется по зависимости (44):

$$D_{17}^n < \frac{1}{0,252 \sqrt[3]{\eta_n}} \frac{1 - \eta_n}{\eta_n} D_{50}^1 = \frac{1}{0,252 \sqrt[3]{15}} \frac{1 - 0,34}{0,34} 30 = 145 \text{ мм.}$$

4) Размер фракций  $D_{10}^n$  определяется по зависимости (25):  $D_{10}^n = i D_{17}^n = 0,63 \cdot 145 \approx 90 \text{ мм.}$  для  $\eta_n = 15$  из графика рис. 5  $i = 0,63$ .

5) Размер фракций  $D_{60}^n$  определяется по зависимости (26):

$$D_{60}^n = \eta_n D_{10}^n = 15 \cdot 90 = 1350 \text{ мм.}$$

6) Максимальный размер фракций каменной наброски определяется по зависимости (27):

$$D_{100}^n < D_{10}^n + 10^x D_{60}^n \frac{\eta_n - 1}{5\eta_n^2} = 90 + 10^{2,5} \cdot 1350 \frac{15 - 1}{5 \cdot 15^2} = 5380 \text{ мм.}$$

$$x = 1 + 1,28 \lg \eta_n = 1 + 1,28 \lg 15 = 2,5.$$

7) По полученным значениям  $D_{10}^n$ ,  $D_{17}^n$ ,  $D_{60}^n$  и  $D_{100}^n$  строится расчетная кривая запроектированного гранулометрического состава материала призм плотин, рис. 16, кривая K.

Полученная расчетная кривая должна являться нижним пределом, т. е. гранулометрический состав материала призм плотин в зоне контакта (рис. 14) с первым слоем фильтра не должен быть крупнее расчетной кривой K, рис. 16 «Зона допустимого гранулометрического состава материала призм плотин» может быть назначена, как указано в § 23 (п. 5).

Рекомендуется, чтобы на контакте с фильтром переходной зоны гранулометрический состав каменной наброски по крупности приближался бы к верхнему пределу рекомендуемой зоны, т. е. к линии а, рис. 16. Тогда сопряжение переходной зоны с каменной наброской будет в значительной степени усилено.

За пределами контактной зоны (рис. 14) в тело плотины может укладываться материал отличный по крупности от расчетного.

#### В. МЕТОДИКА ПОДБОРА ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА МАТЕРИАЛА ПЕРЕХОДНЫХ ЗОН

Подбор гранулометрического состава фильтров переходных зон, как указывалось выше (см. глава III, вариант II), осуществляется в том случае, когда известны карьерные грунты или продукция каменнотермических заводов, из которых требуется подобрать соответствующий состав фильтров переходных зон и определить возможность их сопряжения с материалом призм плотин первого слоя фильтра (однослойная переходная зона) или с укладкой дополнительного второго слоя переходной зоны (двухслойная переходная зона).

Методика подбора материала переходных зон в сущности остается той же, что и в рассмотренном выше случае А главы III, но порядок расчета и выбор ряда расчетных параметров здесь будут иными.

Порядок расчета и пояснения в данном случае целесообразно сделать (во избежание повторения) на конкретном примере по подбору состава фильтров переходных зон применительно к сверхвысокой плотине типа Нурекской ГЭС, с напором  $H=300$  м.

При этом устройство призм плотины рассматривается в двух вариантах: из гравийно-галечникового грунта и каменной наброски.

## § 26. Пример подбора гранулометрического состава грунта (фильтров) переходных зон

### 1. Исходные данные

Требуется: для принятого типа плотины из местных материалов с напором  $H=300$  м (рис. 1, в) с суглинистым ядром подобрать из имеющегося карьерного грунта (рис. 17) гранулометрический состав первого слоя фильтра переходной зоны, который должен удовлетворять всем требованиям, предъявляемым к составу переходных зон сверхвысоких плотин, надежно защи-

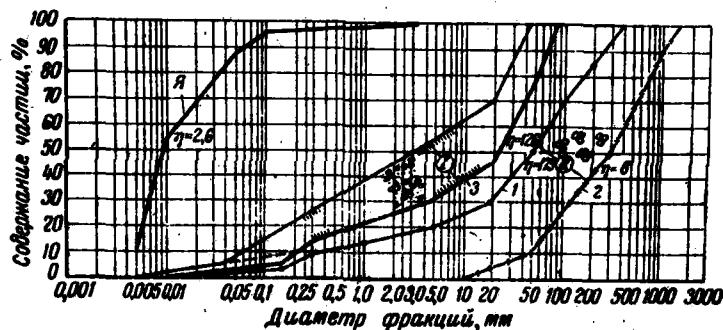


Рис. 17. График подобранных составов материала переходных зон и материала призм плотины

Я — суглинистый грунт ядра; 1 — карьерный грунт, предназначенный для фильтров переходной зоны и как материал для призм плотин; 2 — карьерный камень для призм плотин (максимальная крупность его в зоне контакта с фильтром переходной зоны); 3 — расчетный гранулометрический состав грунта первого слоя фильтра переходной зоны, полученного после отсева из грунта 1 крупных фракций  $D>85$  мм; 4 — «Зона допустимого гранулометрического состава грунта, пригодного для укладки в первый слой фильтра переходной зоны»; 5 — «Зона допустимого гранулометрического состава каменной наброски для призм плотин».

щать и обеспечивать фильтрационно-суффозионную прочность и устойчивость ядра (экрана) плотины.

Материалом для устройства призм плотины намечается использовать тот же карьерный грунт 1 (первый вариант) и карьерный камень 2 для устройства призм из каменной наброски (второй вариант), рис. 17.

Материал ядра плотины — суглинок.

Средние расчетные характеристики суглинка:

содержание глинистых частиц  $d<0,005$  мм — 11,2%;

пылеватых частиц от 0,005 до 0,05 мм — 76,6%;

песчаных частиц (0,05—2,0 мм) — 11%;

объемный вес сухого (скелета) суглинка при укладке его в ядро плотины  $\gamma_{ск} = 1,7$  т/м<sup>3</sup>;

удельный вес частиц суглинка  $\Delta = 2,70 \text{ т/м}^3$ ;  
 число пластичности  $W_p = 8,45\%$ ;  
 верхний и нижний пределы пластичности соответственно 29,19 и 20,74%;  
 коэффициент водонасыщения  $G = 0,73 - 0,91$  при оптимальной влажности  
 $W_o = 15 - 18\%$ .

Материал для фильтров — песчано-гравийно-галечниковый грунт 1, на  
 рис. 17, который имеет следующие основные характеристики:

объемный вес естественного сложения  $\gamma_{ср} = 2,1 \text{ т/м}^3$  (рыхлого сложения  
 $\gamma_{ср} = 1,93 \text{ т/м}^3$ , плотного  $\gamma_{ср} = 2,29 \text{ т/м}^3$ );  
 удельный вес частиц грунта  $\Delta = 2,70 \text{ т/м}^3$ ;  
 пористость  $n = 0,22$ ;

коэффициент разноразмерности  $\eta = \frac{D_{80}}{D_{10}} = 175$ .

коэффициент фильтрации  $K_{ср} \approx 1700 \text{ м/сут}$ ;

Материал каменной наброски для призм плотины — карьерный камень 2,  
 рис. 17:

объемный вес  $\gamma_{ск} \approx 1,62 \text{ т/м}^3$ ; удельный вес  $\Delta = 2,70 \text{ т/м}^3$ ;  
 пористость  $n = 0,39$ , коэффициент разноразмерности  $\eta = 8$ .

## 2. Порядок расчета

а) Материал ядра плотины — суглинок (основные характеристики при-  
 ведены в п. 1) по своим свойствам является связным грунтом, а именно:

содержание глинистых частиц  $d < 0,005 \text{ мм} = 11,2\%$ ;

число пластичности суглинка  $W_p = 8,45 > 7$ ;

коэффициент водонасыщения  $G = 0,73 - 0,91 > 0,85$ .

Объемный вес скелета грунта при его укладке, обеспечивающий молеку-  
 лярное сцепление должен быть:

$$\gamma_{ск} > \gamma'_{ск} = \frac{\Delta}{1 + e_t},$$

где  $\Delta = 2,70 \text{ т/м}^3$ ;  $e_t$  — коэффициент пористости на границе текучести  
 $W_t = 29,19\%$ ;

$$e_t = \frac{\Delta W_t}{100 \gamma_t} = \frac{2,70 \cdot 29,19}{100 \cdot 1} = 0,79; \quad \gamma'_{ск} = \frac{2,70}{1 + 0,79} = 1,51 \text{ т/м}^3.$$

Данный грунт при его укладке будет обладать молекулярным сцепле-  
 нием, так как  $\gamma_{ск} > \gamma'_{ск}$  ( $1,70 > 1,51 \text{ т/м}^3$ ).

Приведенные характеристики дают полное основание считать данный су-  
 глинистый грунт связным. Следовательно, подбор состава первого слоя  
 фильтра к данному составу суглинка следует производить по методике для  
 связных грунтов.

б) Расчетный градиент напора  $I_p$

За расчетный градиент напора может быть принят максимальный гра-  
 диент напора при высачивании фильтрационного потока на низовую грань  
 ядра плотины, определяемый по зависимости (12):

$$I_p = I_{\text{макс}} = \text{tg } \alpha,$$

где  $\alpha$  — угол наклона низового откоса ядра к горизонту (рис. 1, в).

В данном случае  $\alpha = 76^\circ$ , следовательно,

$$I_p = I_{\text{макс}} = \text{tg } 76^\circ = 4,01.$$

в) Расчетное значение диаметра пор грунта  $D_0^{\text{расч}}$  первого слоя фильтра  
 переходной зоны, защищающего связный грунт, определяется из условия (18)  
 недопущения отрыва или отслаивания агрегатов глинистых частиц грунта:

$$D_0^{\text{расч}} = \sqrt{\frac{0,34}{\gamma_p + \cos \theta}} = \sqrt{\frac{0,34}{0,32 \cdot 4,01 + 0,71}} = 0,41 \text{ см} = 4,1 \text{ мм}.$$

где  $I_p = 4,01$ ;  $\varphi = 0,32$  — по таблице, стр. 18;  $\theta = 45^\circ$  — угол между направлениями силы тяжести и скорости фильтрации.

Следовательно, для того, чтобы не происходило отслаивания или отрыва агрегатов частиц связного грунта, состав первого слоя фильтра должен быть таким, чтобы при самой его невыгодной раскладке максимальный диаметр его пор  $D_0^{\max}$  был бы:  $D_0^{\max} < D_0^{\text{расч}}$ .

г) Следует проверить, будет ли гранулометрический состав грунта первого слоя фильтра с предельным значением диаметра пор  $D_0^{\text{расч}} = 4,1$  мм удовлетворять условию неразрываемости связного грунта при фильтрации вдоль контакта, т. е. будет ли удовлетворяться условие (20):

$$I_k < 0,75 I_{kr}$$

где  $I_k$  — принимается по зависимости (13);  $I_{kr}$  — по зависимости (21).  
В данном случае имеем:

$$I_k = \sin \alpha = \sin 76^\circ = 0,97,$$

$$I_{kr} = \frac{1}{\sqrt{D_0^{\max}}} - 0,75 = \frac{1}{\sqrt{0,41}} - 0,75 = 0,81$$

Условие (20) не удовлетворяется, так как

$$I_k > 0,75 I_{kr} (0,97 > 0,61).$$

В таком случае за расчетный диаметр пор грунта первого слоя фильтра следует принять  $D_0^{\max}$  из условия (22), т. е.

$$D_0^{\text{расч}} = D_0^{\max} < \frac{0,56}{(I_k + 0,56)^2} = \frac{0,56}{(0,97 + 0,56)^2} = 0,24 \text{ см.}$$

следовательно, за расчетный диаметр пор первого слоя фильтра следует принять

$$D_0^{\text{расч}} = D_0^{\max} = 2,4 \text{ мм.}$$

д) Зная расчетное значение диаметра пор материала первого слоя фильтра  $D_0^{\text{расч}} = 2,4$  мм, следует проанализировать песчано-гравийно-галечниковый грунт I на пригодность его для укладки в первый слой фильтра в его естественном состоянии или с переработкой и на основе анализа дать рациональные рекомендации.

1. Для выяснения пригодности естественного карьерного грунта I без его переработки для устройства первого слоя фильтра следует установить, удовлетворяется ли основное условие (19), т. е.  $D_0^{\max} < D_0^{\text{расч}}$ .

Для этой цели по зависимости (3) определяется максимальный размер его пор  $D_0^{\max}$  предварительно определив значение

$$\alpha = 1 + 0,05 \eta_1 = 1 + 0,05 \cdot 175 = 9,75;$$

$$D_0^{\max} = 0,455 \cdot 9,75 \sqrt{175} \frac{0,22}{1 - 0,22} = 7,3 \text{ мм.}$$

Из приведенного расчета следует, что основное условие (19) не удовлетворяется, т. е.  $D_0^{\max} > D_0^{\text{расч}} (7,3 > 2,4)$ .

Следовательно, карьерный грунт I не может быть использован для укладки в первый слой фильтра без его переработки.

Следует произвести его анализ и наметить к отсеvu крупные фракции, чтобы удовлетворилось основное условие (19) и другие требования.

е) Анализ карьерного грунта I показывает, что для удовлетворения основного условия (19) из этого грунта достаточно отсеять фракции  $D > 85$  мм (36%) без отмыва мелких фракций, т. е. данный карьерный грунт может быть использован для устройства первого слоя фильтра переходной зоны в объеме 66%, рис. 17, кривая 3.

После отсева фракций  $D > 85$  мм, полученный состав грунта 3 будет иметь следующие характеристики:

коэффициент разнородности  $\eta^1 = 126$ ;  
пористость по зависимости (24)

$$n_\phi = n_0 - 0,1 \lg \eta^1 = 0,40 - 0,1 \lg 126 = 0,29;$$

объемный вес  $\gamma_{ск}^1 = \Delta (1 - n_\phi) = 2,70 (1 - 0,29) = 1,92 \text{ т/м}^3$ ;  $D_{17}^1 = 0,5 \text{ мм}$ ;  
 $K_\phi = 0,25 \text{ см/сек}$  по зависимости (28).

Максимальный размер пор данного состава грунта определяется по зависимости (3), предварительно определив  $\chi$  — коэффициент неравномерности раскладки частиц в грунте, или коэффициент локальности суффозии:

$$\chi = 1 + 0,05 \eta_\phi^1 = 1 + 0,05 \cdot 126 = 7,3;$$

$$D_0^{\text{макс}} = 0,455 \cdot 7,3 \sqrt[3]{126} \frac{0,29}{1 - 0,29} = 1,5 \text{ мм}.$$

Из приведенного следует, что основное условие (19) выполняется, т. е.  $D_0^{\text{макс}} < D_0^{\text{расч}}$  ( $1,5 < 2,4 \text{ мм}$ ), следовательно, данный состав грунта 3 (с отсевом фракции  $D > 85 \text{ мм}$ ), удовлетворяющий основному условию (19), может быть использован для первого слоя фильтра, если удовлетворяются и другие требования.

ж) Учитывая большую степень разнородности  $\eta^1 = 126$ , данный состав грунта 3 должен быть проверен на условие кольматируемости и залечиваемости трещин в ядре плотины независимо от того возможно их образование или нет (при удовлетворении условия кольматируемости такой состав фильтра дает значительный запас прочности в отношении защищаемого им грунта ядра плотины).

Условие кольматируемости и залечиваемости трещин будет выполнено, если подобранный состав первого слоя фильтра из грунта 3 будет удовлетворять критерию (32), т. е.

$$\frac{D_{17}^1}{d_{90}} \leq \frac{26,5 (1 - n_\phi^1)}{n_\phi^1 \sqrt[3]{\eta^1}}.$$

В данном случае имеем:

$$D_{17}^1 = 0,5 \text{ мм}; \quad d_{90} = 0,06 \text{ мм}; \quad n_\phi^1 = 0,29; \quad \eta^1 = 126.$$

После подстановки значений, получим:

$$\frac{D_{17}^1}{d_{90}} = \frac{0,5}{0,06} = 8,35; \quad \frac{26,5 (1 - 0,29)}{0,29 \sqrt[3]{126}} = 29.$$

Условие (32) удовлетворяется. Следовательно, данный состав первого слоя фильтра будет удовлетворять условию кольматируемости и залечиваемости трещин.

з) Гранулометрический состав грунта 3 первого слоя фильтра должен быть проверен на суффозионную прочность при продольной контактной фильтрации.

Грунт 3 следует считать суффозионнопрочным, если выполняется условие (29), т. е.

$$d_{10} = \frac{0,0032 \sin \alpha}{\eta_0 \sqrt[3]{n_\phi^1 / K^1}} < D_5^1.$$

Для данного примера имеем:

$$\sin \alpha = 0,97; \quad D_5^1 = 0,16 \text{ мм}; \quad \gamma_{ск}^1 = 1,92 \text{ т/м}^3; \quad n_\phi^1 = 0,29; \quad \eta^1 = 126.$$

$$K_\phi^1 = 0,25 \text{ см/сек}.$$

$$f_* = 0,82 - 1,8n_{\phi}^I + 0,0062(\eta^I - 5) = 0,82 - 1,8 \cdot 0,29 + 0,0062(126 - 5) = 1,05;$$

$$\tau_0' = 0,30(\tau_{ск}^I - 1)f_* = 0,30(1,92 - 1) \cdot 1,05 = 0,29.$$

После подстановки значений, получим:

$$d_{cl} = \frac{0,0032 \cdot 0,97}{0,29 \sqrt{0,29/0,25}} = 0,0097 \text{ см} = 0,097 \text{ мм},$$

$$d_{cl} < D_5^I, \text{ т. е. } 0,097 < 0,16 \text{ мм}.$$

Следовательно, данный состав грунта 3 первого слоя фильтра следует считать суффозионнопрочным при контактной продольной фильтрации.

и) Полученный из карьерного грунта 1 путем отсева фракций  $D > 85 \text{ мм}$  (35%) гранулометрический состав грунта 3 для первого слоя фильтра имеет коэффициент разнозернистости  $\eta = 126 > 50$ .

Для первого слоя фильтра переходной зоны, защищающего связный грунт, может быть принят коэффициент разнозернистости  $\eta > 50$ , если этот грунт удовлетворяет требованиям, приведенным в § 9, п. 2.

1) Наличие в составе данного грунта песчаных фракций до 2 мм должно быть не менее 20–25%. В полученном грунте 3 песчаных фракций содержится 25%.

2) Расчетный диаметр пор грунта  $D_0^{\text{расч}}$  должен быть больше действительного максимального  $D_0^{\text{макс}}$  в соотношении  $D_0^{\text{расч}} > (1,25 - 1,50) D_0^{\text{макс}}$ . В данном случае  $D_0^{\text{расч}} = 2,4 \text{ мм}$ ,  $D_0^{\text{макс}} = 1,5 \text{ мм}$ . Следовательно, данное условие удовлетворяется, так как  $D_0^{\text{расч}} > 1,5 D_0^{\text{макс}}$ , т. е.  $2,4 > 2,25 \text{ мм}$ .

3) Полученный состав грунта 3 удовлетворяет критерию кольматируемости и самозалечиваемости трещины ядра плотины.

4) При контактной фильтрации и при ожидаемых гидродинамических условиях вынос мелких суффозионных частиц размером  $d_{cl}$  будет значительно меньше допустимого размера  $D_5^I$ , т. е.  $d_{cl} < D_5^I$  ( $0,097 \text{ мм} < 3\%$  и меньше  $D_5^I = 0,16 \text{ мм}$ );

5) Данный состав грунта 3 удовлетворяет (с запасом) критерию (20) т. е. неразрывности связного грунта при контактной продольной фильтрации, так как  $D_0^{\text{расч}} = 2,4 \text{ мм} > D_0^{\text{макс}} = 1,5 \text{ мм}$ . Действительно, имеем:

$$I_{кр} = \frac{1}{\sqrt{D_0^{\text{макс}}}} - 0,75 = \frac{1}{\sqrt{0,15}} - 0,75 = 1,82;$$

$$I_k < 0,75 I_{кр}; \quad 0,97 < 1,37 (k_{зап} = 1,4).$$

Из приведенных расчетов и анализа следует, что все требования, предъявляемые к составу грунта первого слоя фильтра переходной зоны с  $\eta > 50$  вполне удовлетворяются.

Следовательно, полученный из естественного карьерного грунта 1 путем отсева только крупных фракций  $D > 85 \text{ мм}$  грунт 3 (35% карьерного грунта) может быть рекомендован для укладки в первый слой фильтра переходной зоны.

«Зона допустимого гранулометрического состава грунта 3, пригодного для укладки в первый слой фильтра переходной зоны» представлена на рис. 17.

к) Толщина первого слоя фильтра (и последующих слоев, если в этом есть необходимость) для высоких и сверхвысоких плотин назначается, согласно § 10, по зависимости (10).

В данном случае минимальная толщина первого слоя фильтра должна быть:  $T_{\text{мин}} > 3 + 3,5 = 6,5 \text{ м}$ , где  $l' = 3,5 \text{ м}$  — суммарный размер горизонтальных смещений ядра или призмы плотины.

### 3. Сопряжение переходной зоны с материалом призм плотины

В п. 1 настоящего параграфа (исходные данные) указывалось, что материалом для устройства призм плотины намечается использовать тот же карьерный грунт 1 (первый вариант) и карьерный камень 2 для каменной наброски (второй вариант), рис. 17.

#### Порядок расчета

1. Материал призм плотины — естественный карьерный грунт 1, рис. 17.

а) Определяем средний размер пор материала призм плотины (грунта 1)  $D_0^n$  по зависимости (42):

$$D_0^n = 0,455 \sqrt[3]{\frac{n_n}{1-n_n}} D_{17}^n = 0,455 \sqrt[3]{\frac{0,22}{1-0,22}} 2,5 = 0,75 \text{ мм};$$

$$\eta_n = 175; \quad n_n = 0,22; \quad D_{17}^n = 2,5 \text{ мм}.$$

б) Непросыпаемость материала первого слоя фильтра в материал призм плотины будет обеспечена, если удовлетворяется условие (40):  $\frac{D_0^n}{D_{cr}^I} < 1,8$ ,

$$\text{откуда } D_{cr} \geq \frac{D_0^n}{1,8} = \frac{0,75}{1,8} = 0,42 \text{ мм, что значительно меньше } D_{50}^I = 22 \text{ мм}.$$

Следовательно, в данном случае  $D_{cr}^I = D_{15}^I = 0,42 \text{ мм}$  непросыпаемость материала первого слоя фильтра в материал призм плотины из грунта 1 вполне обеспечивается.

2. Материал призм плотины — карьерный камень 2 (рис. 17).

а) Средний диаметр пор данного материала

$$D_0^n = 0,455 \sqrt[3]{\frac{n_n}{1-n_n}} D_{17}^n = 0,455 \sqrt[3]{\frac{0,39}{1-0,39}} 70 = 29 \text{ мм},$$

$$\eta_n = 8; \quad n_n = 0,39; \quad D_{17}^n = 70 \text{ мм}.$$

б) Согласно § 23 сводообразующие фракции слоя фильтра переходной зоны может быть принята  $D_{cr}^I < D_{50}^I$ . В данном случае  $D_{50}^I = 22 \text{ мм}$ .

в) Непросыпаемость материала первого слоя фильтра в материал каменной наброски будет обеспечена, если удовлетворяется условие (40)

$$\frac{D_0^n}{D_{cr}^I} < 1,8,$$

$$\text{принимая } D_{cr}^I = D_{50}^I = 22 \text{ мм, получим } \frac{29}{22} = 1,3 < 1,8.$$

Непросыпаемость материала первого слоя фильтра грунта 3 в материал призм плотины из каменной наброски 2 обеспечивается, дополнительной переходной зоны (второго слоя) не требуется.

г) В данном случае в призм плотины может быть уложен карьерный материал 1 или карьерный камень 2, или призм плотины могут возводиться из карьерного камня 2, а засыпка «пазух» выполняться карьерным материалом 1, что значительно упрочнит тело плотины.

д) «Зона допустимого состава материала каменной наброски» может быть назначена в пределах между кривыми гранулометрического состава грунта 1 и карьерного камня 2 (зона II), рис. 17.

Примечание. За пределами приконтактной зоны (рис. 14) каменной наброски в тело плотины может быть уложен более крупный материал камня.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Инструкция по проектированию обратных фильтров гидротехнических сооружений, ВСН 02-65. «Энергия», 1965 (составили А. Н. Патрашев, Г. Х. Праведный).
2. Праведный Г. Х. Вопросы проектирования грансостава переходных зон, обеспечивающих фильтрационную прочность откосов ядер (экранов) высоких плотин из местных материалов, 1964 (Библиотека ВНИИГ — рукопись).
3. Праведный Г. Х. Проектирование обратных фильтров, защищающих связные грунты. Труды координационных совещаний по гидротехнике, вып. IX. «Энергия», 1964.
4. Истомина В. С. Фильтрационная устойчивость грунтов. Госстройиздат, 1957.
5. Строительные нормы и правила (СНиП) част. II, раздел И, глава 4-62 и глава 6-62. Госстройиздат, 1964.
6. Патрашев А. Н., Праведный Г. Х., Павич М. Исследование механической и химической суффозии в песчано-гравелистых грунтах и скальных породах, часть I, 1958, часть II, 1960. (Библиотека ВНИИГ — рукопись).
7. Патрашев А. Н., Праведный Г. Х. Определение расчетных размеров частиц несвязных грунтов при проектировании обратных фильтров. Труды координационных совещаний по гидротехнике, вып. XXI. «Энергия», 1965.
8. Патрашев А. Н., Праведный Г. Х. Проект инструкции по проектированию обратных фильтров гидротехнических сооружений. Госэнергоиздат, 1963.
9. Павич М. Способ определения несуффозионных гранулометрических составов грунта. Известия ВНИИГ, т. 68. Госэнергоиздат, 1961.
10. Праведный Г. Х. Разработка методики подбора обратных фильтров для связных грунтов, 1962. (Библиотека ВНИИГ — рукопись).
11. Праведный Г. Х. Исследования по проектированию и подбору гранулометрического состава фильтров переходных зон высоких плотин. «Энергия», 1966.
12. Праведный Г. Х. Подводный намыв противofильтрационных экранов. Известия ВНИИГ, т. 62. Госэнергоиздат, 1959.
13. Евдокимов П. Д., Володенков П. И. Разработка вопросов расчета напряженного состояния и деформации глинистых ядер высоких плотин с учетом распределения порового давления, на базе модели грунта, как упругоползучей среды, 1964. (Библиотека ВНИИГ — рукопись).
14. Мойсеев С. Н. Плотины каменно-земляные, набросные и из сухой кладки. Госэнергоиздат, 1962.
15. Лофицкий В. Н. Разработка методов возведения каменнонабросных плотин с обобщением результатов исследований хозяйственных работ, 1964. (Библиотека ВНИИГ — рукопись).
16. Лофицкий В. Н. Указания по возведению высоких плотин из местных материалов, ВСН 021-69. «Энергия», 1970.
17. Праведный Г. Х. Временные указания по проектированию и подбору гранулометрического состава фильтров переходных зон, защищающих связные (глинистые) грунты, ядер (экранов) высоких и сверхвысоких плотин из местных материалов, ВСН 01-66. «Энергия», 1967.



18. Праведный Г. Х. К вопросу проектирования переходных зон земляных плотин. Гидротехническое строительство, 1970, № 8.

19. Праведный Г. Х. Указания по проектированию противофильтрационных устройств подземного контура бетонных плотин на скальных основаниях с трещинами тектонического происхождения, ВСН 01-70. «Энергия», 1970.

20. Чугаев Р. Р. Земляные гидротехнические сооружения (теоретические основы расчета). «Энергия», 1967.

21. Моисеев С. Н. Каменно-земляные и каменнонабросные плотины. «Энергия», 1970.

## СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Предисловие	3
Глава I. Общие положения	5
§ 1. Область применения	5
§ 2. Принятые термины и обозначения	6
§ 3. Назначение переходных зон	8
§ 4. Задачи проектирования гранулометрического состава фильтров переходных зон	8
§ 5. Материал для переходных зон	9
§ 6. Исходные данные для проектирования	9
Глава II. Основные расчетные положения для проектирования гранулометрического состава материала переходных зон	10
§ 7. Общие указания	10
§ 8. Оценка суффозионности (несуффозионности) грунтов, определение максимального размера выносимых частиц и максимально возможного процента выноса (по геометрическому критерию)	11
§ 9. Допускаемая степень разнородности грунтов для устройства переходных зон	12
§ 10. Толщина первого слоя фильтра переходной зоны	13
§ 11. Расчетные градиенты напора	14
Глава III. Методика проектирования и подбора гранулометрического состава фильтров переходных зон	16
А. Методика проектирования гранулометрического состава фильтров переходных зон	16
Проектирование гранулометрического состава первого слоя фильтра переходных зон для ядра плотины	16
§ 12. Общие указания	16
1. Проектирование гранулометрического состава первого слоя фильтра для низового откоса ядра плотины	17
§ 13. Определение расчетного размера диаметра фильтрационных пор грунта первого слоя фильтра	17
§ 14. Проверка прочности связного грунта и гранулометрического состава первого слоя фильтра на контактный размыв продольным фильтрационным потоком	18
§ 15. Методика определения расчетных размеров фракций и построение «зоны допустимого гранулометрического состава грунта, пригодного для первого слоя фильтра»	19
§ 16. Проверка на суффозионную прочность гранулометрического состава грунта первого слоя фильтра	22
4*	51

	Стр.
§ 17. Условие самозалечиваемости трещин в ядре (экране) насыщенных плотин	23
II. Проектирование гранулометрического состава первого слоя фильтра для верхового откоса ядра плотины	25
§ 18. Общие указания	25
§ 19. Проектирование (подбор) гранулометрического состава первого слоя фильтра переходной зоны для верхового откоса ядра на участке от отп. УМО до его основания	26
§ 20. Проектирование (подбор) гранулометрического состава грунта первого слоя фильтра переходных зон экрана плотины	26
§ 21. Проектирование (подбор) гранулометрического состава фильтровой подготовки под крепления верховых откосов земляных плотин из связного (глинистого) грунта	29
§ 22. Определение коэффициента фильтрации суглинистого грунта	33
§ 23. Сопряжение переходной зоны с материалом призмы плотины	33
§ 24. Условия фильтрационно-суффозионной прочности переходной зоны на контакте с материалом призмы плотины	37
§ 25. Пример проектирования гранулометрического состава грунта (фильтров) переходных зон	38
Б. Методика подбора гранулометрического состава материала переходных зон	43
§ 26. Пример подбора гранулометрического состава грунта (фильтров) переходных зон	44
Литература	50

Page 43 non.

20. Chugayev, R.R. "Zemlyanyye gidrotekhnicheskiye sooruzheniya (teoreticheskiye osnovy rascheta)" [Earthen Hydraulic Engineering Structures (Theoretical Bases of Estimates), Energiya, 1967.
21. Moiseyev, S.N. "Kammenno-zemlyanyye i kamennonabrosnyye plotiny" [Earth and Rockfill Dams], Energiya, 1970.